



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# MITTAKONEEN KÄRKIEN TARKISTAMINEN JA MITTAUSPÖYDÄN SUUNNITTELU

Paakkilan Konepaja Oy

TEKIJÄ: Maria Kukkonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Maria Kukkonen			
Työn nimi Mittakoneen kärkien tarkistaminen ja mittauspöydän suunnittelu			
Päiväys	13.12.2017	Sivumäärä/Liitteet	35
Ohjaajat Tutkimusinsinööri Jussi Asikainen, tuntiopettaja Sami Ipatti			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Paakkilan Konepaja Oy / tuotantopäällikkö Rauno Nykänen			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja laatia työpiirustukset kalibroinnin apukappaleelle ja mittapöydälle Paakkilan Konepaja Oy:lle. Yrityksessä oli investoitu Zeiss MMZG 20/30/20 3D-mittalaitteeseen, jonka mittausprosessiin ja mittalaitteen kärkien tarkastamiseen haluttiin löytää työtä nopeuttavia ja helpottavia ratkaisuja.</p> <p>Työ aloitettiin perehtymällä yrityksen mittaus- ja kalibroititoimenpiteisiin sekä mittalaitteen teknologiaan. Yrityksen mittauksen työvaihteisiin tutustumalla sai hyvän käsityksen, millainen prosessi mittaus ja kalibrointi ovat ja mitä se vaatii. Työssä perehdyttiin lisäksi mittaustekniikan ja kalibroitiprosessien yleisiin vaatimuksiin ja standardeihin, jotta voitiin todeta suunniteltavat kappaleet toimiviksi ja tarkoituksenmukaisiksi apuvälineiksi.</p> <p>Lopputuloksena saatiin tilaajalle suunniteltua ja toimitettua mittalaitteen kärkien tarkistamisen ja apukappaleen sekä mittauspöydän työpiirustukset. Piirustusten perusteella tilaaja sai mahdollisuuden valmistaa itselleen mittauspöydän ja mittakärkien tarkistukseen apukappaleen.</p>			
Avainsanat kalibrointi, mittaustekniikka, mittauspöytä, mittalaite			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author Maria Kukkonen			
Title of Thesis Examining Sensor Heads in Measuring Machine and Designing a Measuring Table			
Date	December 13, 017	Pages/Appendices	35
Supervisors Mr. Jussi Asikainen, Research Engineer and Mr. Sami Ipatti, Lecturer			
Client Organisation /Partner Paakkilan Konepaja Oy / Mr. Rauno Nykänen Production Manager			
<p>Abstract</p> <p>The subject of this final project was to design and make drawings for the part that could help calibration for a measuring machine and a measuring table. The project was commissioned by Paakkilan Konepaja Oy. The client had purchased a Zeiss MMZG 20/30/20 3D measuring machine. The client was hoping to find a new solution to make calibration and measuring process faster and easier.</p> <p>The project was started by studying the calibration and measuring processes in the company and by learning the technology of the measuring machine. Studying the measuring and calibration operations gave a good understanding about the processes. The project included studying the theory, standards and requirements of the calibration process and measuring technology. This information will help to make the parts functional and appropriate for the company.</p> <p>As a result of this final project the client was provided with drawings for the part to help calibration and for the measuring table. The client is able to manufacture these parts with the provided drawings.</p>			
Keywords calibration, measuring technology, measuring table, measuring machine			

## ESIPUHE

Haluan kiittää Paakkilan Konepaja Oy:tä hienosta mahdollisuudesta tehdä heille mielenkiintoinen opinnäytetyö ja erityiskiitokset Rauno Nykäselle ja Teuvo Hurville yhteistyöstä opinnäytetyön teossa. Haluan kiittää myös ohjaavia opettajia Jussi Asikaista ja Sami Ipattia opinnäytetyön ohjauksesta sekä neuvoista ja palautteesta. Lisäksi haluan kiittää myös läheisiäni opintojeni aikaisessa tukemisessa.

Kuopiossa 13.12.2017

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
1.1	Aiheen rajausta .....	6
1.2	Paakkilan Konepaja Oy .....	6
2	MITTAUSTEKNIikka .....	8
2.1	Mittauksen tarkoitus .....	8
2.2	Mittausepävarmuus .....	9
2.3	Mittausvirheet .....	9
2.4	Kalibroinnin ja mittauksen tilat .....	10
3	KALIBROINTI .....	12
3.1	Kalibrointia koskevia vaatimuksia .....	12
3.2	Jäljitettävyys .....	12
4	MITTAUSPROSESSI PAAKKILAN KONEPAJA OY .....	14
4.1	Tuotteiden mittaus .....	14
4.2	Mittakoneen rakenne .....	17
4.3	Mittakoneen kalibrointi .....	17
5	MITTAUSPÖYDÄN JA REFERENSSIKAPPALEEN SUUNNITTELU .....	19
5.1	Hitsisaumojen mitoitus .....	19
5.2	Referenssikappale .....	21
5.2.1	Referenssikappaleen pää .....	21
5.2.2	Referenssikappaleen jalkaosa .....	22
5.2.3	Referenssikappaleen kokoonpano .....	22
5.3	Mittauspöytä .....	24
5.3.1	Mittauspöydän jalat .....	24
5.3.2	Mittauspöydän jalkojen tukikappaleet .....	26
5.3.3	Mittauspöydän pöytälevy .....	27
5.3.3	Mittauspöydän kahva .....	28
5.3.4	Mittauspöydän kiinnityskappaleet .....	29
5.3.5	Mittauspöydän pyörät .....	31
5.3.6	Mittauspöydän kokoonpano. ....	31
6	YHTEENVETO .....	33
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	34

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena oli suunnitella mittauskärkien tarkastamiseen kalibroinnin avuksi referenssikappale ja mittauksen apuvälineeksi mittauspöytä.

Mittalaitteen mittauskärjet kuluvat fyysisesti ajan mittaan konetta käytettäessä, joten kärjet on kalibroitava säännöllisesti. Kalibrointi tilaajan mittakoneella kestää useita tunteja, joten tähän haluttiin apuvälineeksi tarkastuskuutio, jolla voisi varsinaisen kalibroinnin sijaan määrittää mittalaitteen mittausepävarmuuden. Mittalaitteen kärkien tarkistukseen oli tavoitteena löytää keino, jolla tarkistuksen saisi tehtyä alle tunnissa. Referenssikappaleella ei olisi tarkoitus korvata laitteen kalibrointeja, vaan se olisi apuväline tarkistamaan mittakoneen mittakärkien epävarmuuden kiireellisissä tilanteissa esim. lomien aikana ja apuväline tilanteille missä vakituisen mittaajan tilalla olisi töissä sijainen. Kappaleesta haluttiin helposti liikuteltava ja mittaushuoneen lattiaan hyvin sopiva kappale, sillä mittaushuoneen lattiassa sijaitsee railoja, joihin kappaleen jalan tuli olla sopiva. Kappaleen tuli olla tukeva, ettei olisi kaatumisen vaaraa.

Mittauspöytä haluttiin apuvälineeksi pienten kappaleiden mittaukseen. Pöydällä pienten kappaleiden mittaus olisi helpompaa ja mittaajan työergonomian kannalta edullisempi tapa mitata tuotteet. Pöydän tuli olla helposti liikuteltavissa isompien mitattavien kappaleiden tieltä. Pöytään haluttiin kiinnitysmahdollisuus mitattaville kappaleille ja pöydän pinnan tuli olla kulumisen kestävä. Pöydän rakenteesta haluttiin kevyt ja tukeva.

### 1.1 Aiheen rajaus

Tämän opinnäytetyöhön aiheeksi rajattiin työnkuvien mallintaminen tilaajan toivomusten mukaisesti mittauspöydästä ja mittakärkien tarkistamisen apukappaleesta. Työnkuviin kuuluivat osapiirustukset kappaleiden koneistusta varten sekä kokoonpanopiirustukset kappaleiden koontaa ja hitsausta varten. Työnkuvat suunniteltiin toteutettavaksi 3D-malleina Solidworks-ohjelmistolla, jolla sai valmiista malleista piirustukset. Työnkuvien perusteella tilaaja sai valmistettavakseen valmiit kappaleet omissa tuotantotiloissaan.

Opinnäytetyöhön sisältyi työnkuvien lisäksi mittaustekniikan ja kalibroinnin teoriaan perehtyminen sekä tilaajan mittausprosessiin ja mittalaitteen toimintaan perehtyminen. Teoriaosuuteen perehtyminen suunniteltiin toteutettavaksi pääasiassa kirjallisen materiaalin kautta. Tilaajan mittausprosessiin ja mittalaitteen toimintaan tutustuminen suunniteltiin perehtymällä mittausprosessiin tilaajan toimitiloissa työntekijän avustuksella sekä mittalaitteen toimittajan kirjalliseen materiaaliin perehtymällä.

### 1.2 Paakkilan Konepaja Oy

Paakkilan Konepaja on perheyriety, joka perustettiin vuonna 1978. Yritys toimii Tuusniemellä Paakkilassa 5000 m<sup>2</sup> tuotantotiloissa. Yritys on panostanut viimeisinään teknologiaan sekä tuotantomenetelmien kehittämiseen ja tällä mahdollistetaan vaativien tuotteiden valmistus nopealla

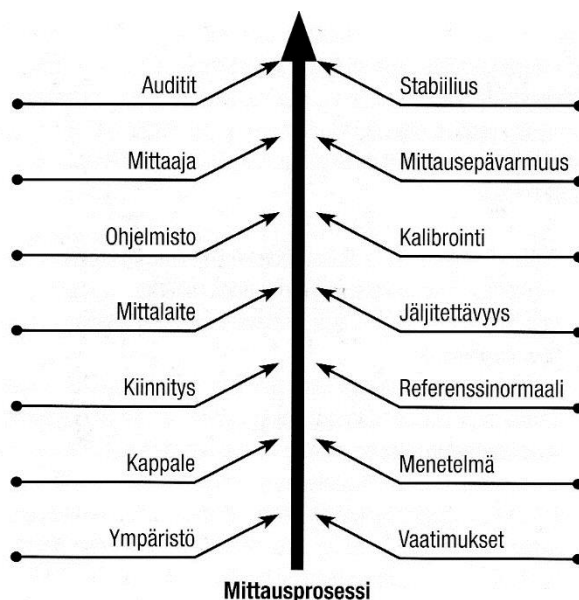
tuotantoprosessilla. Yrityksen valmistamia tuotteita käytetään mm. satamanostureissa, murskaimissa, paperikoneissa, voimalaitosten kattiloissa, prosessiteollisuuden tuotantolinjoissa, metsäkoneissa sekä kaivos- ja tunnelikoneissa. Yrityksen toiminnan perustana on pitkäaikaiset asiakassuhteet. Yritys panostaa tekniikan lisäksi myös henkilöstön osaamiseen ja kouluttamiseen ja lisäksi yritys toimii yhteistyössä paikallisten oppilaitosten kanssa osaamisen kehittämiseksi.

Yritys on saanut toiminnastaan useita palkintoja, mm. Maakunnallisella yrittäjäpalkinnolla (1986), Vuoden Alihankkijana (Suomen Logistiikkayhdistys 1997) ja Maakunnan Vahvin 2007 (Suomen Asiakastieto 2007).

## 2 MITTAUSTEKNIikka

Mittaustieteen eli metrologian keskeisiä osa-alueita ovat suureet, mittayksiköt, mittanormaalit, mittaukset, mittaustulosten käsittely sekä luotettavuuden arviointi ja mittausten inhimilliset tekijät. (Aumala, 1989)

Teollisuudessa koneenosia valmistetaan eri tehtaissa ja näiden on kokoonpanovaiheessa sovittava toisiinsa ilman aikaa vievää sovitustyötä. Näin ollen osille annetaan piirustuksissa oikeat mitat ja ammattitaitoisen mittaajan on todettava, että valmistetut osat ovat annettujen mittojen mukaisia. (Autio;ym., 1979) Alhaalla oleva kuva havainnollistaa mittausprosessiin liittyviä tekijöitä ja vaiheita kaavion muodossa.



KUVA 1. Mittausprosessi. (Esala;ym., 2003)

### 2.1 Mittauksen tarkoitus

Luotettavien mittausten avulla voidaan tuottaa laadukkaita tuotteita ja palveluita. Mittausten oikeellisuus on tärkeää kilpailukyvyille sekä kansainväliselle vertailukelpoisuudelle ja ISO 9000 -laatujärjestelmä vaatii mittaustulosten jäljitettävyyttä. Luotettavilla mittaauksilla on myös mahdollisuus estää henkilö-, omaisuus- ja ympäristövahinkoja. (Andersson;ym., 1997)

Mittaustulosten todenmukaisuus, joka tavallisimmin määritetään poikkeamana, saadaan vertaamalla menetelmän mittaustuloksia tunnetun materiaalin referenssiarvoon tai toiseen tunnettuun menetelmään. Vertailumateriaaliksi olisi paras käyttää sertifioitua vertailumateriaalia, mutta näiden saanti on rajoitettua ja siksi voidaan validointiin käyttää myös itse tehtyjä vertailumateriaaleja. (Hiltunen;ym., 2011)



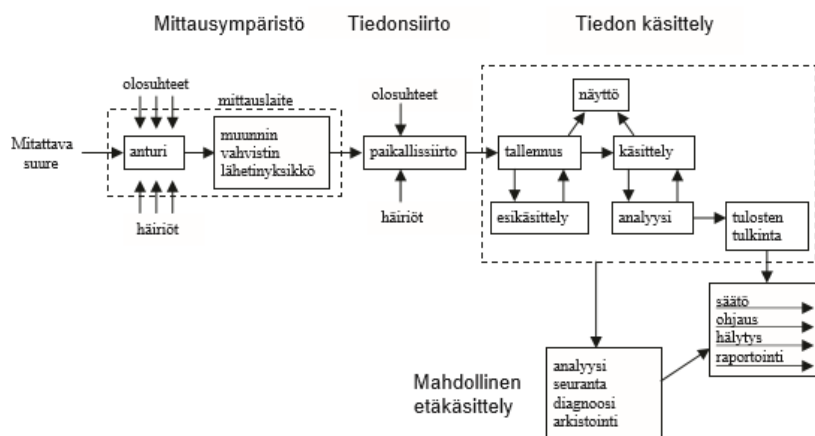
Mittasuureiden jäljitettävyydelle on kansainvälisiä organisaatioita. Suomessa suureiden jäljitettävyyttä ylläpitää Mittatekniikan keskus eli MIKES. (Esala;ym., 2003)

## 2.2 Mittausepävarmuus

Kappaleen todellinen mitta muodostuu mittausvälineen lukemasta ja virheestä. Mittavirheitä on kahdenlaisia eli systemaattinen virhe ja mittausepävarmuus. Systemaattinen virhe, joka syntyy esim. työntömitan kielen katkeamisesta, voidaan ottaa huomioon mittautuloksessa. Tällainen virhe tulee kuitenkin korjata. Mittausepävarmuuden tekijöitä ei tarkkaan tunneta, mutta näitä voi aiheuttaa esim. mittausvälineen rakenne ja kulumisvirheet. Mittausepävarmuuden takia on virheen vaikutus otettava huomioon mittavälineen valinnassa. (Autio;ym., 1979) Mittautulosten epävarmuuteen liittyvä kokonaisepävarmuus on arvioitava kaikissa kalibroinneissa. (Vitikainen, 1993)

Mittalaitteen epävarmuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat lisäksi mm. kalibroinnin epävarmuus ja aika kalibroinnista, lineaarisuus, taajuusriippuvuus, resoluutio, mittalaitteen stabiilius, dynaamiset ominaisuudet, nollakohdan asetus, mittalaitteen asento ja mitattavan signaalin aaltomuoto. Mittalaitteet antavat tarkimman tuloksen silloin, kun olosuhteet ovat mahdollisimman samankaltaiset kuin kalibroinnin aikana. (Hiltunen;ym., 2011)

Liitteenä oleva kaavio havainnollistaa mittausjärjestelmään liittyvät tapahtumat ja mittausjärjestelmään vaikuttavat tekijät.



KUVA 2. Mittausjärjestelmän rakenne (Hiltunen;ym., 2011)

## 2.3 Mittausvirheet

Mittauksessa tehdyt virheet voivat aiheuttaa yritykselle taloudellisia tappioita. Mittausvirheitä voi aiheuttaa mittaja, mittausväline, mitattava kappale ja olosuhteet.

Mittaajasta johtuvia virheitä voi olla mittajaan taito ja harkintakyky, huolimattomuus, ajatusvirhe, paralleksivirhe, mittausvälineen virheellinen käsittely ja liiallisen voiman käyttö. (Autio;ym., 1979)

Digitaalisia mittalaitteita käytettäessä mittaaajan vaikutus mittausvirheisiin vähenee, mistä johtuen analogisten mittalaitteiden käyttö on vähentynyt. Mittausvirheitä aiheuttaa myös inhimilliset virheet, joita voi olla mm. väärän mittalaitteen valinta, väärin suoritettu mittaus, väärä asteikon lukeminen, laskuvirhe ja yksiköiden sekoittaminen (Hiltunen;ym., 2011)

Mittausvälineestä voi tulla virheitä, jos mittausväline on kulunut tai vioittunut sekä rullamittaa käyttäessä sen taipuma. (Autio;ym., 1979) Lisäksi mittalaitteen systemaattista virhettä voi tulla esim. mittalaitteen väärin lukemisesta, virheellisestä kalibroinnista ja rajallisesta havaitsemistehokkuudesta. (Hiltunen;ym., 2011)

Mitattavasta kappaleesta johtuvia virheitä on makrogeometriset virheet, eli muotovirheet. Olosuhteista johtuvat virheet voivat tulla joko lämpötilasta tai liasta ja pölystä. (Autio;ym., 1979)

Mittausvirhe voidaan ilmaista yhtälöllä, jossa saadaan mittaustuloksen ero suureen arvosta. Yhtälössä  $x$  on mittaustulos,  $a$  on vertailuarvo ja  $e$  on absoluuttinen virhe. Yhtälö voidaan esittää muodossa:

$$e = x - a$$

Suhteellinen virhe, eli osamäärä saadaan täten seuraavalla yhtälöllä:

$$\varepsilon = e/a$$

(Aumala, 1989)

## 2.4 Kalibroinnin ja mittauksen tilat

Kalibroinnit ja mittaukset voidaan tehdä luotettavasti tiloissa, joissa on huolehdittu puhtaudesta, sähkömagneettisista häiriöistä, kosteudesta, käyttöjännitteen stabiiliudesta, lämpötilasta sekä ääni- ja värinätasosta. (Vitikainen, 1993) Hyvin tarkoissa mittauksissa myös ilmanpaine voi vaikuttaa mittaustulokseen. (Hiltunen;ym., 2011)

Konepajateknisissä mittauksissa peruslämpötila on 20°C ja tässä lämpötilassa tehdyissä mittauksissa ei tarvitse tehdä korjausta lämpöpienenemiskertoimella. Mittaustiloissa tulee huolehtia myös oikeanlaisesta ilmastoinnista, jotta se ei vaikuta mittaustuloksiin. Suhteellinen ilmankosteus mittaustiloissa on suositeltavaa olla 35-55 %. Alaraja kosteudelle on määritelty lämpötilan ylläpitämiseksi, pölyn poissa pitämiseksi, ihmisen terveyden kannalta edulliseksi sekä materiaalien, esim. muovi, puu ja paperi, mittojen pysymiseksi. Yläraja kosteudelle on määritys rautametallien korroosion estämiseksi. Mittaushuoneen värähtelyt voivat haitata mittaustuloksia ja voi näkyä nollapisteen muutoksena tai yksittäisinä hyppyinä tuloksissa. Värähtelyjen vaikutuksen minimoimiseksi mittausalustana kannattaa käyttää kivitasoa, jonka jalkojen alle laitetaan kumivaimentimet. Oikeanlainen valaistus mittaustiloissa on sellainen, ettei mittaaajan silmät rasitu

tarkkuustyössä. Valaistukseen kannattaa käyttää kylmävalolamppuja, jottei valoista tule lämpötilavaikutuksia mittaustiloihin. Puhtaudesta huolehtiminen mittaustiloissa on tärkeää, sillä lika lisää kitkaa, mikä kasvattaa mittausvoimia ja johtaa laitteiden kulumiseen. Optisten mittalaitteiden kannalta puhtaus on erityisen tärkeää mittaustuloksen oikeellisuuden kannalta.

Hyvin onnistuneeseen mittaukseen ja kalibrointiin tulisi tilat olla varustettu myös sähköllä, paineilmalla, vesiliitännällä, puhelimella, tietoliikenneyhteyksillä, raittiilla ilmalla ja viemäroinnillä. (Esala;ym., 2003)

## 2.5 Koordinaattimittauskoneet

Koordinaattimittauskoneiden toiminta perustuu mittauskohteen osageometrioiden määrittämiseen koordinaattipisteiden avulla. Koordinaattipisteet voivat olla suorakulmaisessa, sylinteri-, napa tai pallokoordinaatistossa ja periaatteena on mitattavasta pisteestä saada mahdollisimman paljon tietoa mittausepävarmuuden pienentämiseksi. Koordinaattimittauskone muodostuu mekaanisesta koordinaatistosta, pituudenmittausjärjestelmästä, optisesta tai koskettavasta mittauspäästä sekä mittaustietokoneesta ja -ohjelmistosta.

Koordinaattimittauskoneet voidaan luokitella manuaalimittauskoneisiin, moottorikäyttöisiin mittauskoneisiin ja numeerisesti ohjattuihin mittauskoneisiin. Manuaalimittauskoneita ohjataan liikuttamalla luisteja tai käyttöpyöriä käsin ja koskettamalla anturilla mittauskohdetta. Manuaalimittauskoneiden heikkous on huonossa tarkkuudessa ja hitaudessa. Moottorikäyttöiset mittauskoneet ovat periaatteeltaan manuaalimittauskoneita vastaavia, mutta ne ovat motorisoinnin takia suurempia ja joissain koneissa voi mittausvoima olla säädettävissä. Numeerisesti ohjatuissa mittauskoneissa mittaus tapahtuu etukäteen tehdyllä ohjelmalla ja ohjelmointitapoja on useita. (Andersson;ym., 1997)

### 3 KALIBROINTI

Kalibroinnilla tarkoitetaan toimenpidettä, joilla voidaan verrata mittalaitteen antamia arvoja mittanormaalien vastaaviin arvoihin. Kalibrointeja koskevia ohjeita käsittelevät kansainväliset standardit mm. ISO 9000 -sarja mukaan lukien ISO 10012 /4, 5, 6 ,7 ,8/. Kalibrointijärjestelmällä varmistetaan mittaustulosten oikeellisuus sekä tuotteen laatu ja se on näin ollen yleensä osana yrityksen laatujärjestelmässä. Kalibrointijärjestelmän rakentaminen lähtee yrityksen omista tarpeista, johon vaikuttaa myös asiakkaiden ja laatujärjestelmän auditoijan tarpeet. Kalibroinnit voidaan tarvittaessa teettää myös yrityksen ulkopuolella akkreditoidussa kalibrointilaboratoriossa. (Vitikainen, 1993)

Mittaajalla ja kalibroijalla toimenkuvan erottaa määritelmä, että mittaja määrittää suuren arvon ja kalibroija selvittää mittalaitteen mittausepävarmuuden. Nykyisellä koulutusjärjestelmällä ei Suomessa ole varsinaisia koulutuksia kalibroinnin työtehtäviin, joten tähän toimenkuvaan perehdytään pääasiassa kokemuksella ja jatkokoulutuksella. (Esala;ym., 2003) Metrologiaan liittyviä opintoja järjestää ympäri Suomea useat eri yliopistot ja ammattikorkeakoulut. (Oulun yliopisto, 2013)

#### 3.1 Kalibrointia koskevia vaatimuksia

SFS-ISO 9000 -standardeissa on määritelty kalibroinnille mm. seuraavat vaatimukset:

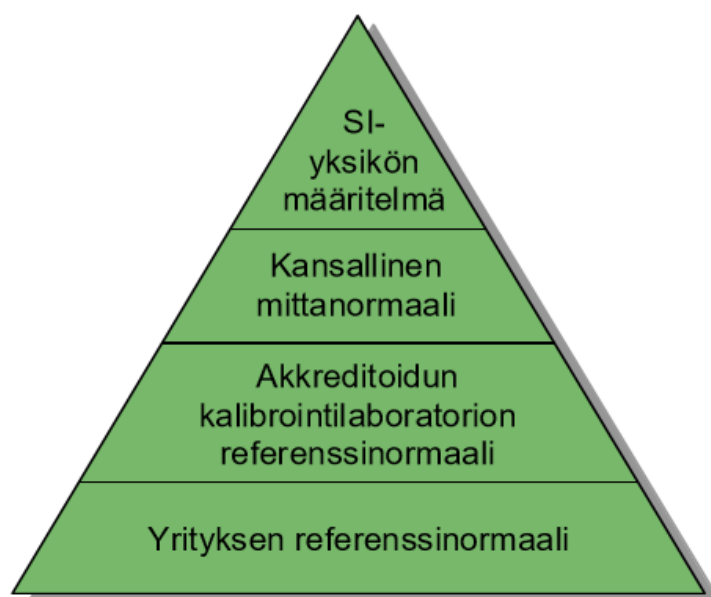
- Ympäristöolot oltava kalibrointiin soveltuvat
- Välineitä on käsiteltävä ja säilytettävä asiallisesti sekä ne on suojattava epäasialliselta käytöltä
- Mittaus- ja kalibrointilaitteiden kalibrointitila on osoitettava
- Tarvittavat mittaukset ja niiltä vaaditut tarkkuudet on yksilöitävä
- Tarkastuksiin, mittauksiin ja testauksiin on valittava asianmukaiset välineet
- Tarkastus-, mittaus- ja testauslaitteet, joilla on vaikutusta tuotteen laatuun, on kalibroitava määrävälein jäljitettävästi
- Kalibrointimenetelmät, -väli ja -tulokset sekä hyväksymiskriteerit on dokumentoitava
- Laitteella, jolla todetaan virheellinen kalibrointi, on arvioitava ja dokumentoitava tulokset (Vitikainen, 1993)

#### 3.2 Jäljitettävyys

Kalibroinnissa jäljitettävyydellä tarkoitetaan katkeamatonta kalibrointien ketjua, jossa kalibroidaan yrityksen mittalaitteen referenssinormaaleja kansallisiin tai kansainväliseen mittanormaaleihin suureen määritelmään asti. Kaikista kalibroinneista on tehtävä kalibrointitodistus tai muu yrityksen sisäinen sähköinen tai kirjallinen todistus. (Esala;ym., 2003)

Alhaalla näkyvässä kuvassa on havainnollistettu jäljitettävyysketju. SI-suureet ovat BIPM -organisaation vastuulla, jonka toiminta perustuu jäsenmaiden eri komiteoissa tehtäviin suosituksiin, omaan tutkimustoimintaan ja vertailumittauksiin. BIPM:ssä suomalainen osapuoli on MIKES

(Mittaustekniikan keskus), joka edustaa jäljitettävyydessä kansallista tasoa ja turvaa Suomessa elinkeinoelämän tarvitsemat mittaus toiminnan peruspalvelut. (Esala;ym., 2003)



KUVA 3. Mittausten jäljitettävyys. (Hiltunen;ym., 2011)

### 3.3 Kalibroinnin välineet

Kalibrointijärjestelmä voi muodostua useammasta laitteesta tai välineestä, jotka muodostavat kalibroinnin ketjun. Kalibroinnit voi ostaa palveluna kansallisesta mittauspaikasta tai akkreditoiduista kalibrointilaboratorioista, jos yritys ei voi omalla laitteistollaan suorittaa kalibrointia.

Yksinkertaisimmat kalibrointivälineet voivat olla mitta-asteikko ja mittapalasarjat, joita voidaan käyttää pituuden mittauslaitteisiin, esim. työntö- ja rullamitat. Tarkempaan pituuden mittauslaitteen kalibrointiin voidaan käyttää laser-interferometriä. Sähkösuureiden mittauslaitteiden kalibrointi voidaan suorittaa käyttämällä tarkempaa mittausvälinettä. Painemittauslaitteita voi kalibroida painevaa’alla.

Valaistusmittareiden, virtausmittareiden, ajan mittauslaitteiden, punnituslaitteiden, vaakojen ja momenttien mittauslaitteiden kalibrointi suositellaan tehtäväksi akkreditoiduissa kalibrointilaboratorioissa tai kansallisista mittauspaikoista.

Lämpötilamittareiden kalibrointia voi suorittaa vertailumittauksena käyttäen jäljitettävästi kalibroitua referenssimittaria. Referenssikappaleilla ja riittävillä toistoilla tapahtuvia kalibrointia voi tehdä esim. iskuvasaroille ja kovuusmittareille. (Vitikainen, 1993)

## 4 MITTAUSPROSESSI PAAKKILAN KONEPAJA OY

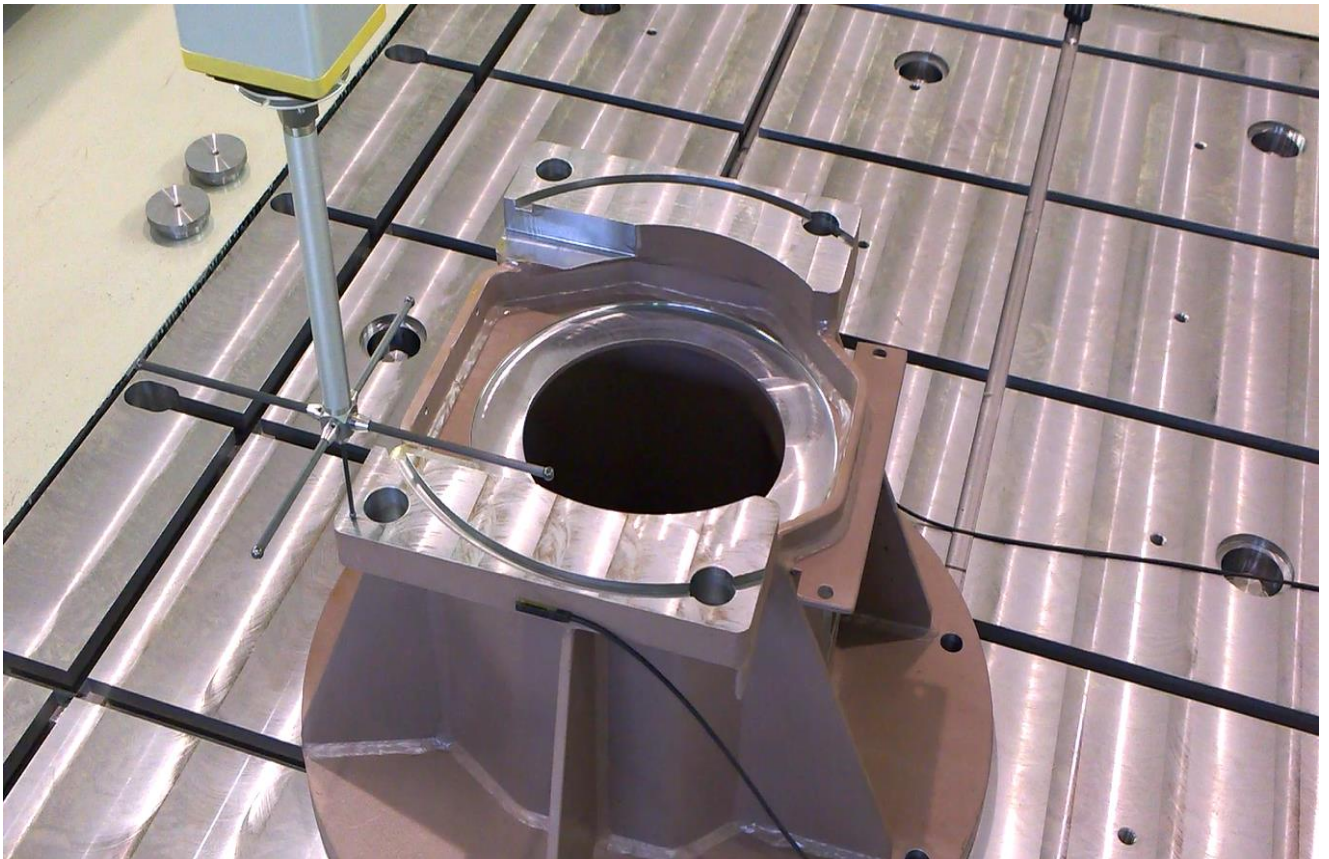
Paakkilan Konepaja Oy:lla on käytössä mittaukseen Zeiss MMZG 20/30/20 3D-mittakone. Yrityksessä on kappaleiden mittaus ja kalibrointi yleensä yhden ihmisen vastuulla, mutta tarvittaessa voi myös muut työntekijät häntä paikata. Laitteeseen kuuluu yksi Master-kärki ja seitsemän eri mittauspää. Mittalaitteen käyttöön on Calypso-ohjelmisto, jolla operoidaan mittauksia, tuloksia ja kalibrointia. Yrityksessä tuotetaan asiakkaille toimitettavia yksittäiskappaleita, joista jokainen on mitattava valmistuksen jälkeen. Asiakkaat antavat tilaukselle tarvittavat toleranssit ja standardit, joita tuotannossa noudatetaan.

### 4.1 Tuotteiden mittaus

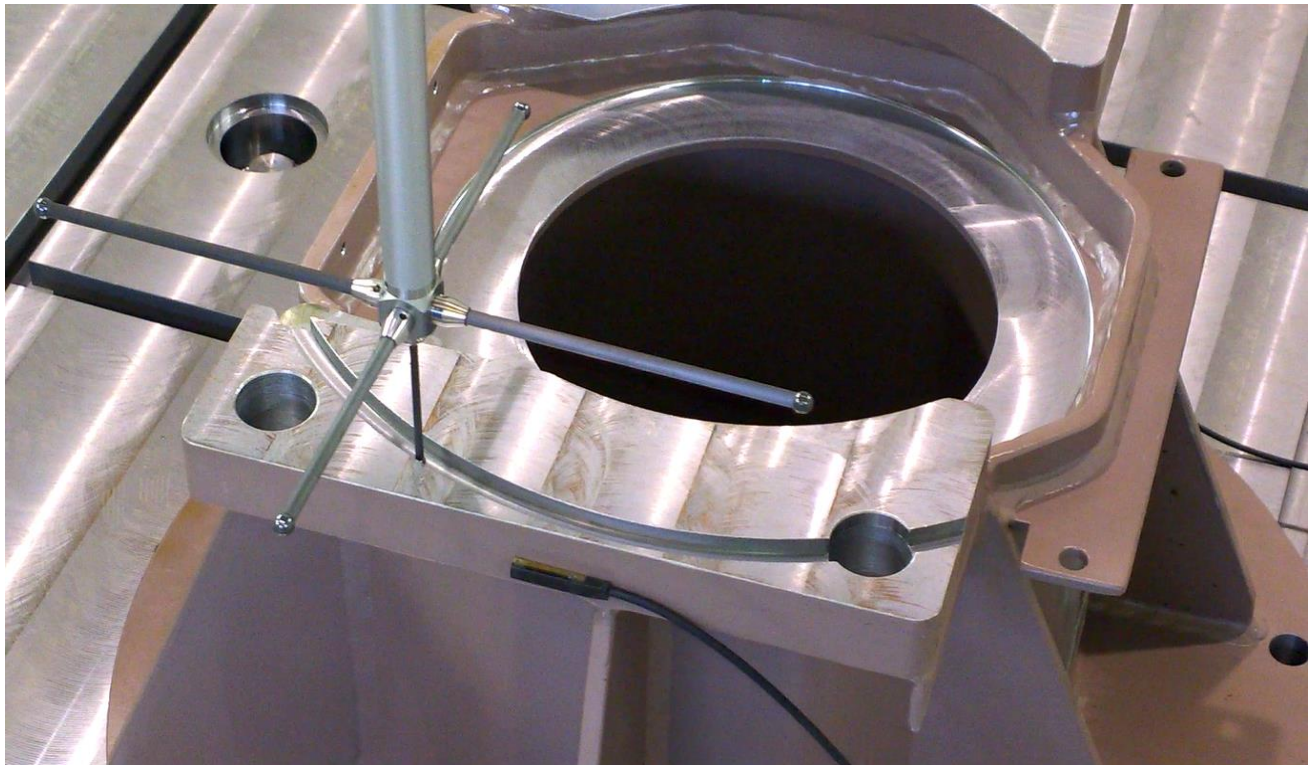
Mittakoneelle on Paakkilan Konepaja Oy:ssa oma huone, joka on hyvien mittausedellytysten vaatimusten mukainen. Huone on eristetty muusta tuotantotilasta, mikä edistää siisteyttä, vähentää melua ja mahdollistaa tasaisena pysyvän noin 20°C lämpötilan. Mittakoneelle on tilassa oma tietokone, jolla mittakonetta voi hallinnoida ja tallentaa mittaustulokset.

Mittaaja voi hakea tietokoneelta mitattavan kappaleen CAD-kuvan ja tehdä mittaussuunnitelman. Mittauksien jälkeen mittakone antaa tulokset kuvaajien kanssa tietokoneelle, joista voi nähdä onko tuotteen laatu ja tuotteelle asetetut toleranssit asiakkaan pyytämällä tasolla. Jos tuote ei täytä asiakkaan antamia laatukriteerejä, viedään tuote takaisin tuotannon puolelle ja toimitetaan vasta laatukriteerien täytyessä. Liitteinä olevat kuvat näyttävät, miten mittalaitteella mittaus toimii Paakkilan Konepaja Oy:ssä käytännössä.



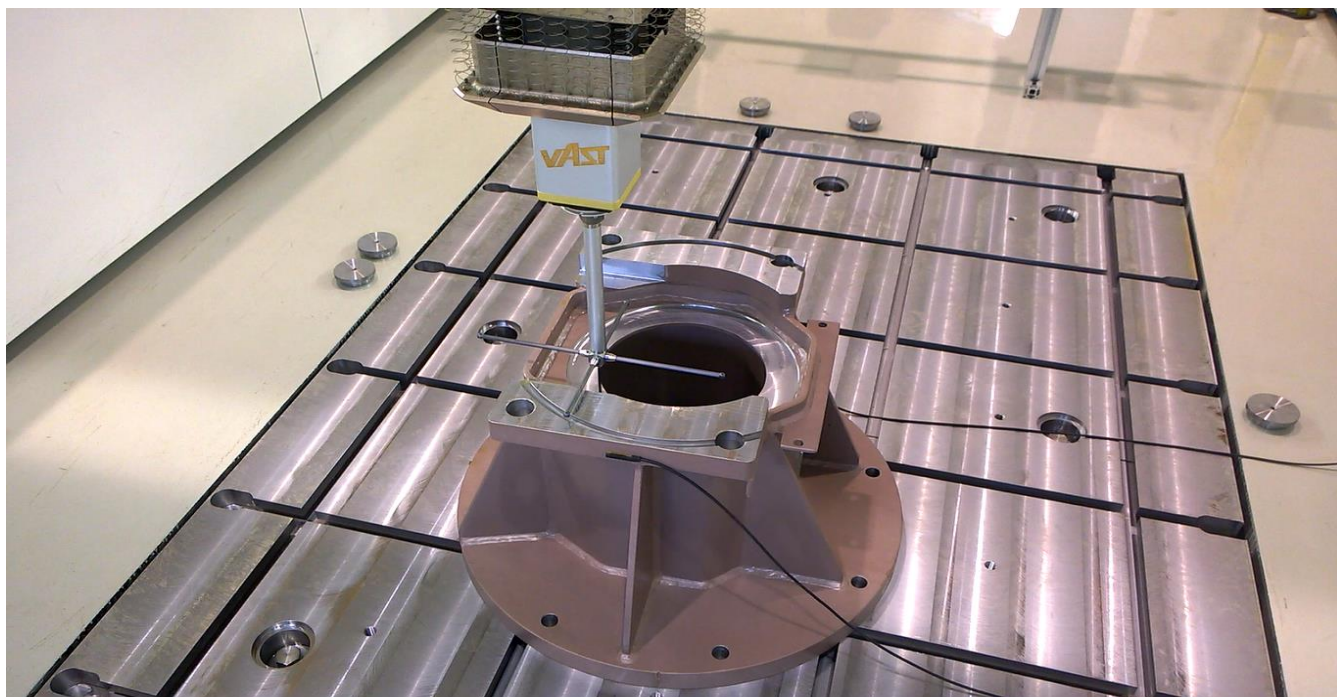


KUVA 4. Mittakoneella mittaus suoran pinnan geometriasta. (Paakkilan Konepaja Oy, Hurvi Teuvo, 2017)

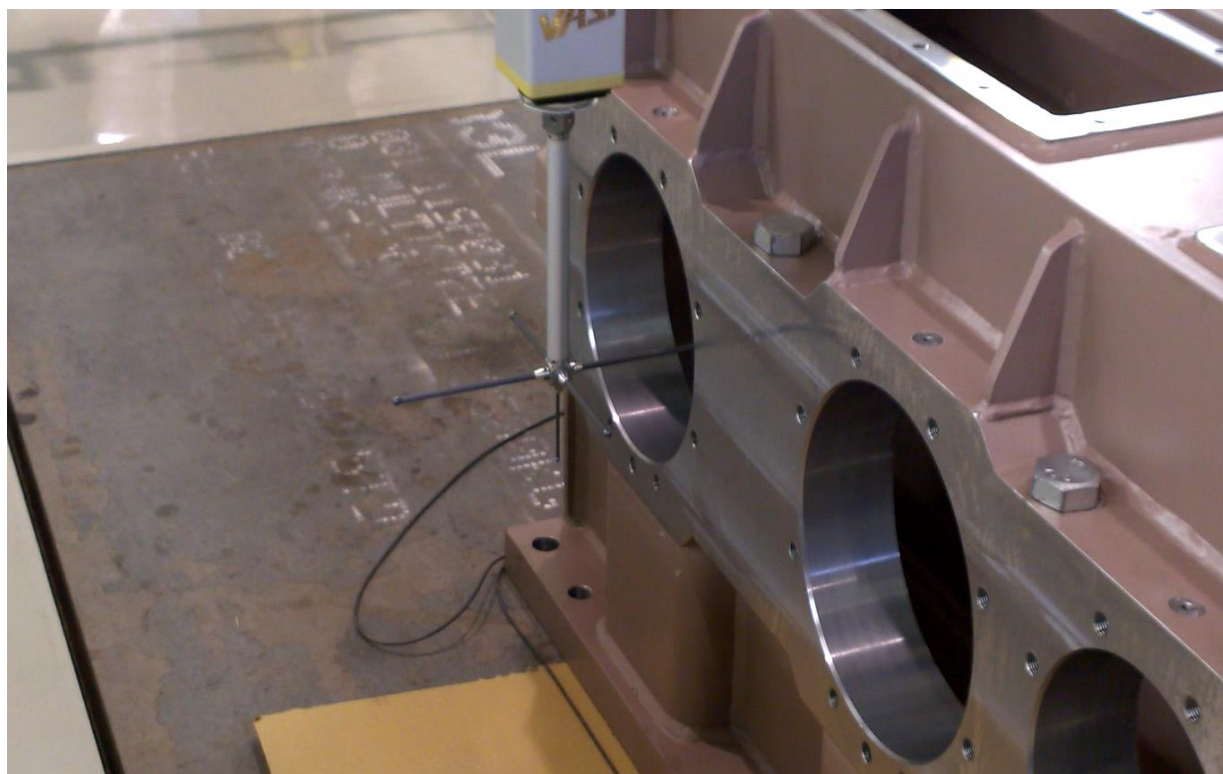


KUVA 5. Koneistetun pinnan mittaus. (Paakkilan Konepaja Oy, Hurvi Teuvo, 2017)





KUVA 6. Koneistetun reiän mittaus (Paakkilan Konepaja Oy, Hurvi Teuvo, 2017)



KUVA 7. Reiän sisähalkaisijan mittaus (Paakkilan Konepaja Oy, Hurvi Teuvo, 2017)



## 4.2 Mittakoneen rakenne

Laitevalmistajalla on mittakoneelle tarjolla erilaisia mittauspäitä ja materiaaleina näille on mm. teräs, alumiini, hiilikuitu ja titaani ja mittauskärjen päässä on yleensä rubiinkikuula. Rubiini voi olla synteettisesti tuotettu jalokivi, jossa on tarvittavat ominaisuudet mittauksiin kovuuden ansiosta. Mittakärjen materiaaleissa tärkeimmät tekijät mittauksen kannalta ovat paino, lämpöstabiilius ja mekaaninen stabiilius. Laitevalmistaja on erilaisille mittauspäille antanut suositusarvot mittaustilaan liittyen lämpötilalle ja äänenpaineelle. Jokaisella mittauspäällä on mittakoneessa oma paikka, mikä on ilmoitettu ohjelmistoon. Näin mittauksen alkaessa kone pystyy automaattisesti hakemaan oikean mittauspään.

## 4.3 Mittakoneen kalibrointi

Ennen kalibrointia ohjelmistoon syötetään oikeat arvot ja annetaan kalibrointikuulan asento. Sen jälkeen kalibrointia jatketaan niin, että laitteessa olevaa referenssikärkeä käytetään kalibrointikuulan paikan määrittämiseen. Tästä saadaan kalibrointiin koordinaattiarvo nollapisteelle. Tilajalla on mittalaitteessa käytössä kalibrointiin 6 pisteen kalibrointi, mikä on vakiotapa kytkeville mittauspäille. Tämä tapa tarkoittaa sitä, että paikan määrittämiseen kosketetaan mittauspäällä neljää pistettä ja sen jälkeen kalibrointiin 6 pistettä. Ohjelmistosta on tiedot kaikista mittauspäistä ja ohjelmistosta valitaan ennen mittauspään kalibrointia mittauspää, jotta saadaan oikeat arvot oikealle mittauspäälle. Kalibrointikuulaa kosketetaan anturin varren suunnassa ja tämän jälkeen käynnistyy mittakoneen automaattinen kalibrointiohjelma. Kalibroinnin suorittamiseksi laiteelle käytetään kalibrointikuulaa halkaisijaltaan 30 mm ja kalibrointi suoritetaan kerran viikossa. Kalibrointi toimii laitteessa niin, että laite tietää vain minkä kokoinen kuula on. Kaikki mittauskärjet kalibroidaan kuulan avulla ja näin saadaan niille oikea mittausepävarmuuden tulos. Alhaalla olevassa kuvassa on vaiheittain näytetty kalibroinnin vaiheet mittalaitteen ensimmäiselle kalibroinnille ja uudelleenkalibroinnille.

### Kalibrointiprosessin kulku



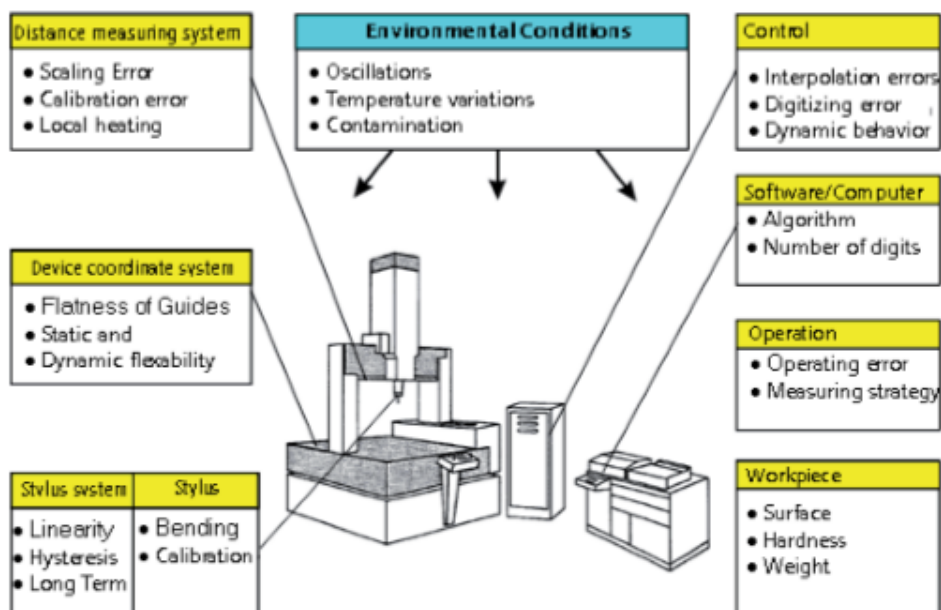
Kuva 8. Kalibrointiprosessi mittalaitteelle. (Carl Zeiss 3D Metrology Services Gmb, 2006)

#### 4.4 Mittakoneella mittaus

Kappaleiden mittausta varten Calypso -ohjelmistossa on CAD-ikkuna, jonne saa suunnittelijan tekemän kappaleen kuvan kolmiulotteisena. CAD-ikkuna on yhteensopiva useimpien suunnitteluohjelmistojen kanssa. Ohjelmistossa on kahdenlaisia mittauselementtejä, eli olemassa olevat kappaleen osat, kuten sivupinnat ja poraukset sekä suunnittelulementit ilman fyysistä olomuotoa, eli leikkaavat suorat ja lieriön akselit. Mittauselementit ohjelmistoon tulevat teknisistä piirustuksista ja niiden avulla määrätään miten mitattavan kappaleen koko, muoto ja positio testataan suhteessa nimellis- ja toleranssiarvoihin. Mittakoneessa on käytössä automaattinen elementin havaitseminen, joten se tunnistaa useimmat geometriset elementit automaattisesti, kun mittauskärjellä kosketetaan kappaletta. CAD-ikkunasta voidaan valita kappaleen kosketuspisteet ja kappaleesta esimerkiksi kolmea pistettä koskettamalla ohjelmisto voi päättää onko mittauselementti suora, taso vai ympyrä, sillä mittausalgoritmi ottaa huomioon mittauspisteiden position ja kosketussuunnan. Calypson mittasuunnitelmassa on kaikki tarvittava tieto mittaamista varten, esim. mittauspiirteet toleransseineen, mittauselementit, anturijärjestelmien nimitykset, työkappaleen järjestelmä sekä turvatasot työkappaleen ympärillä. Mittauksen jälkeen ohjelmistosta saa mittautulosten raportit ja raportteja voi halutessa tulostaa eri muotoisina.

Laitevalmistaja on antanut oman ohjeistuksensa laitteen käyttöön mittavirheiden välttämiseksi. Ohjeistukseen sisältyy toiminta törmäyksessä, kiinnitystyökalut, kosketusjärjestelmät, koordinaattimittauskoneen epävarmuustekijät ja epävarmuusanalyysi. Kuvassa näkyy laitevalmistajan ilmoittamat epävarmuustekijät ympäristöolosuhteille. (Carl Zeiss 3D Metrology Services Gmb, 2006)

#### Ympäristöolosuhteet



KUVA 9. Laitevalmistajan antamat koordinaattimittauskoneen epävarmuustekijät ympäristöolosuhteista. (Carl Zeiss 3D Metrology Services Gmb, 2006)

## 5 MITTAUSPÖYDÄN JA REFERENSSIKAPPALEEN SUUNNITTELU

Mittauspöydän ja referenssikappaleen suunnittelussa pyrittiin noudattamaan mahdollisimman hyvin tilaajan toiveita ja tarpeita, jotta ne toimisivat mahdollisimman hyvin apuvälineinä mittaus- ja kalibrintiprosessissa. Jo työn alkuvaiheessa tilaajalla oli hyvin selkeä käsitys siitä, millaiset kappaleet olisivat heidän toimintoihinsa parhaiten soveltuvia. Koko suunnitteluprosessin ajan tilaajan kanssa tehtiin yhteistyötä ja näin saatiin kappaleisiin heidän toivomansa ominaisuudet.

Tilaajalla oli käytössään materiaalina rakenneteräs S355, joten se otettiin myös suunniteltavien kappaleiden materiaaliksi. Ruuveja oli tilaajalla käytössä Pameto 8.8, joten kokoonpanoihin käytettiin Solidworksin kirjastosta vastaavalla lujuudella olevia ruuveja. Ruuvien lisäksi Solidworksin kirjastosta lisättiin kokoonpanoon aluslevyt ja lukitusmutterit.

Varsinainen suunnittelutyö toteutettiin Solidworks ohjelmistolla, joka oli sekä tilaajan että oppilaitoksen käytettävissä. Suunnitteluohjelmalla tehtiin 3D-mallit osista ja kokoonpanoista, joista saatiin koneenpiirustukset tilaajalle.

Kaikkiin osien teräviin kulmiin suunniteltiin viisteet käyttömukavuuden ja työturvallisuuden takia. Työnkuviin ne merkittiin referenssimitoilla R1, jotta viisteiden kokoa sai tarvittaessa kasvattaa määrävien mittojen pysyessä muuttumattomana.

Kappaleiden suunnittelussa pyrittiin huomioimaan mahdollisimman yksinkertainen valmistettavuus sekä sellaiset muodot, joissa tulisi mahdollisimman vähän materiaalihukkaa. Kappaleiden suunnittelussa pyrittiin löytämään myös mahdollisimman vähän jälkikäsittelyjä ja hitsejä vaativat muodot ja hitsit suunniteltiin helposti hitsattavissa oleviin paikkoihin.

Valmiisiin kokoonpanopiirustuksiin laskettiin tarvittavat hitsisaumat ja osapiirustuksiin lisättiin koneistus- ja viimeistelymerkinnät tuotantoa varten.

Tilaajalla oli käytössään tuotantotilat, sisältäen mm. koneistuskeskukset ja hitsaussolut, joissa pystyi piirustusten perusteella valmistamaan kappaleet alusta loppuun.

### 5.1 Hitsisaumojen mitoitus

Hitsisaumojen mitoitus laskettiin pienahitsin yksinkertaisen mitoitusehtoien perusteella. Hitsin kestävyys voidaan olettaa riittäväksi, jos hitsin jokaisessa pisteessä täyttyy ehto:

$$F_w \cdot E d \leq F_w \cdot R d$$

Lausekkeessa

$F_{w.Ed}$  tarkoittaa hitsin pituusyksikköä vaikuttavan voiman mitoitusarvoa

$F_{w.Rd}$  tarkoittaa hitsin kestävyden mitoitusarvoa pituusyksikköä kohti

Hitsin kestävyden mitoitusarvo lasketaan kaavalla:

$$F_{w.Rd} = f_{vw} \cdot d \cdot a$$

Missä hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo  $f_{vw} \cdot d$  lasketaan kaavasta

$$f_{vw} \cdot d = \frac{f_u \div \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

missä

$f_u$  on rakenteen heikoimman osan vetomurtolujuuden arvo

$\beta_w$  on korrelatiokerroin, joka on materiaalille S355 0,9

$\gamma_{M2}$  =1,25

Voima yksikköpituudella johdettiin kaavasta:

$$F_{w.Ed} = \frac{F_{Ed}}{L_w}$$

missä

$L_w$  on hitsin pituus

Näistä kaavoista johtamalla saadaan a-mitan pituudelle lauseke:

$$a \geq \frac{F_{Ed} \beta_w \gamma_{M2} \sqrt{3}}{L_w f_u}$$

(Teräsrakenneyhdistys Ry, 2010)

Laskentakaavojen perusteella saatiin molempien kappaleiden kaikille hitsisaumoille riittäväksi mitaksi kestävydeltään  $a_3$ , joka on pienin mitoitus pienahitsille.

Esimerkkinä lauseke, jolla laskettiin mittauspöydän yhden jalan yhdelle hitsille a-mitta käyttäen kuormana 337 kg, johon sisältyi pöydälle haluttu kuorman kantavuus sekä pöydän oma paino.

Lausekkeen mitoissa oli arvot, joissa oli suurin kuorma lyhyintä hitsiä kohden suunnitelluille kappaleille ja laskulla voitiin todeta kaikkien hitsisaumojen riittävä mitoitus.

$$a \geq \frac{3,3kN \times 0,9 \times 1,25 \times \sqrt{3}}{200mm \times 0,47kN / mm^2} = 0,07$$

(Teräsrakenneyhdistys Ry, 2010)

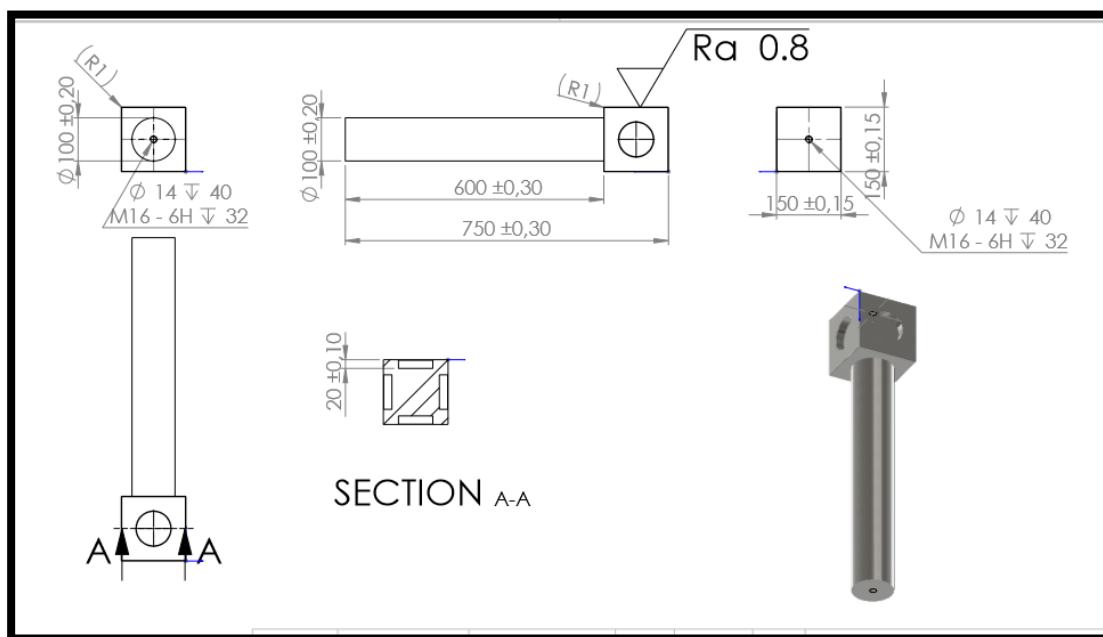
## 5.2 Referenssikappale

Referenssikappaleesta haluttiin apuväline, joka ei korvaisi mittalaitteen varsinaista kalibrointia, vaan voisi kiiretilanteessa auttaa mittalaitteen mittausepävarmuuden määrittelyä. Referenssikappaleesta haluttiin helposti siirrettävä ja lattialla tukevasti paikallaan pysyvä.

Referenssikappale suunniteltiin valmistettavuutta varten kahdesta osasta, eli lattiaan tulevasta jalasta ja kalibrointipäästä, mihin tuli varsi ja varsinainen kalibrointipää. Kappaleeseen suunniteltiin kiinnitys hitsaamalla kappaleen varsi jalkaan. Suunnitteluvaiheen alussa kappaleen muotoa soviteltiin kolmeen osaan, jolloin varresta ja kappaleen päästä olisi tullut erillinen osa. Tässä sovelluksessa olisi lisätty yksi hitsisauma, mutta koneistuksen aikainen materiaalihukka olisi ollut pienempi. Rakenteiden yksinkertaisuuden kannalta päädyttiin valmiissa työnkuviissa kaksiosaiseen versioon. Varren rakennetta olisi voinut vielä hieman keventää koneistamalla materiaalia keskeltä pois, jolloin rakenteesta olisi tullut putkimainen ja tässä olisi tullut yksi koneistusvaihe lisää. Tilajalla oli kuitenkin käytössään nostolaite kappaleen siirtelyyn, joten rakenteen keventämiselle tai optimoinnille ei tässä suunnitteluprosessissa koettu tarpeelliseksi.

### 5.2.1 Referenssikappaleen pää

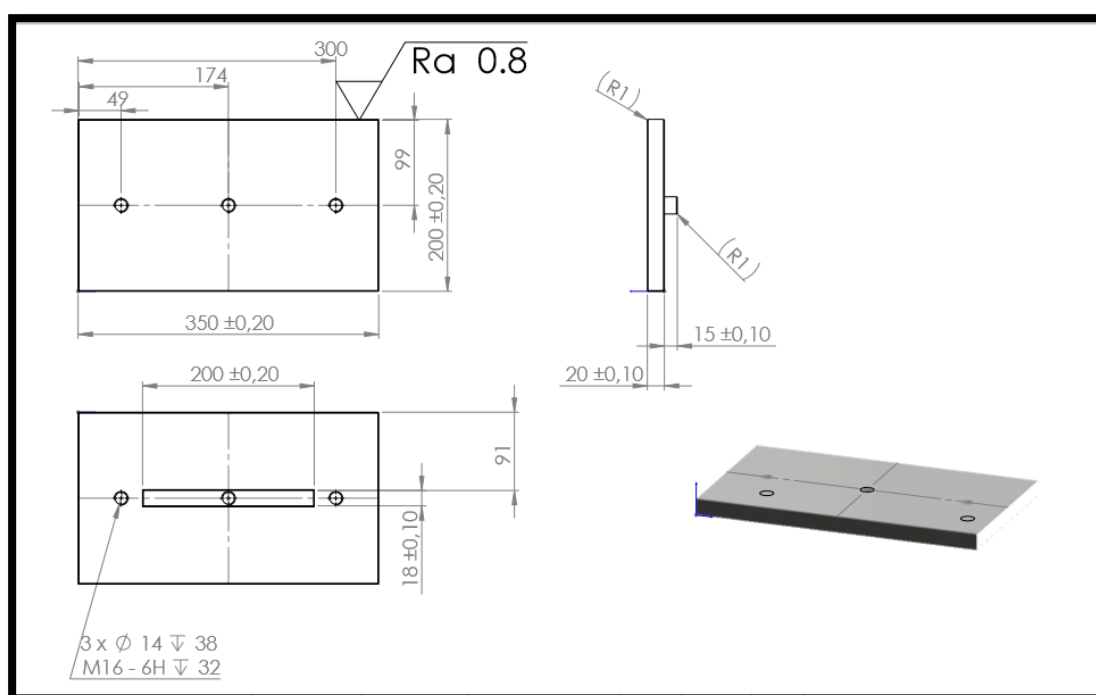
Referenssikappaleen pään tuli olla sellainen, että siitä saadaan tehtyä mittaukset useammalta sivulta yhdellä kertaa. Päähän toivottiin myös ruuville paikka tarvittavaa koneella siirtoa varten, joten tähän suunniteltiin keskelle M16 kokoinen reikä mittakappaleen ylätasoon keskelle.



KUVA 10. Referenssikappaleen pää. (Kukkonen, 2017)

### 5.2.2 Referenssikappaleen jalkaosa

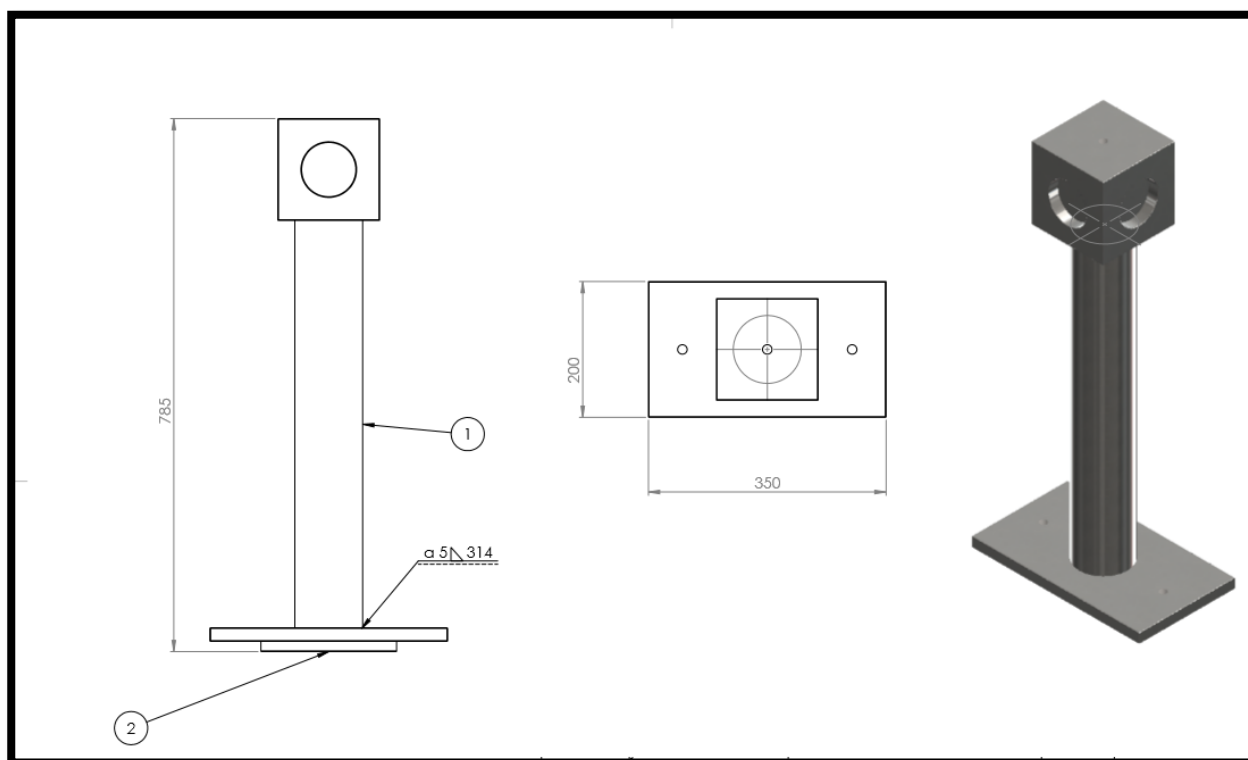
Jalkaosaan tehtiin mittahuoneen lattian kolojen mukainen uloke jalan alaosan keskelle, jotta jalka saataisiin tukevasti pysymään lattialla. Jalkaosaan suunniteltiin myös ruuvien paikat, jos kappale haluttaisiin laittaa lattiaan kiinni ruuveilla. Ensimmäinen versio kappaleen jalasta oli neliön muotoinen, mutta jalkaosasta suunniteltiin tilaajan toiveen mukaan suorakaiteen muotoinen, jolloin jalalle saatiin lisää tukevuutta.



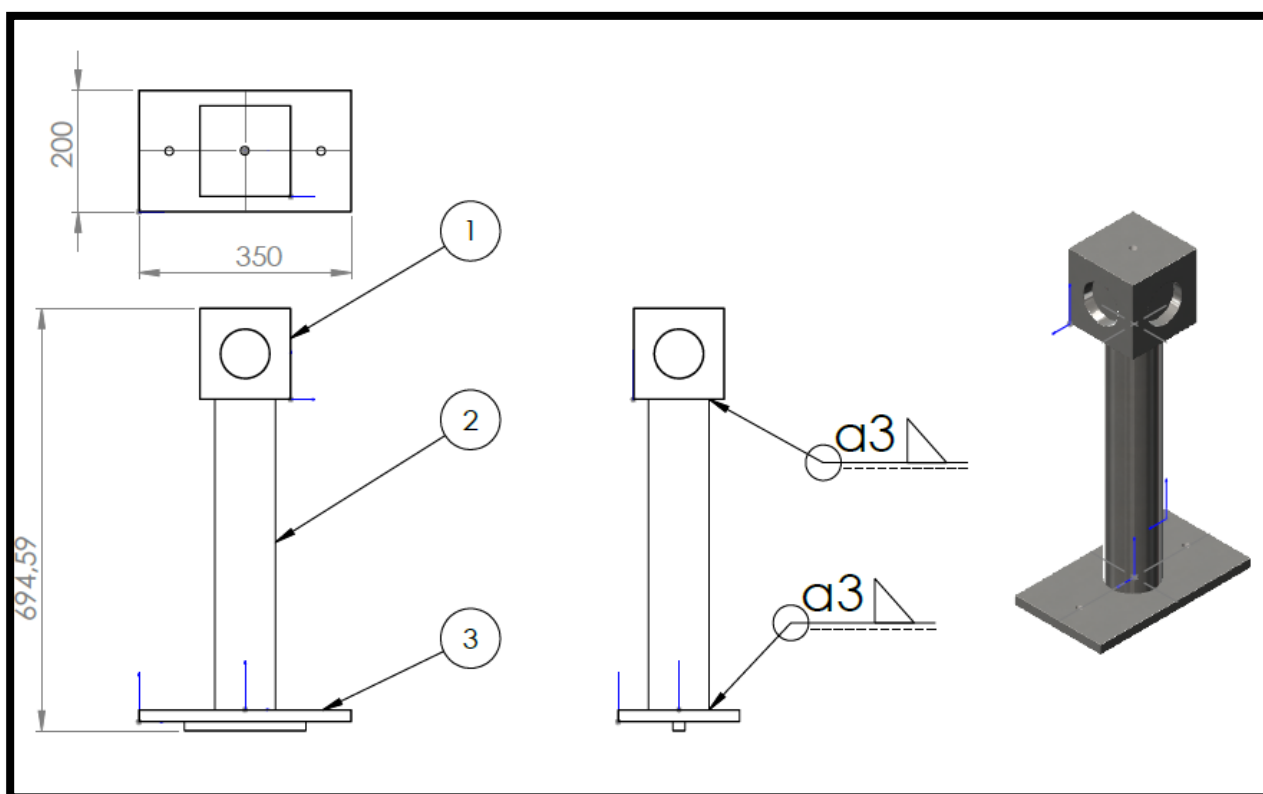
KUVA 11. Referenssikappaleen jalkaosa. (Kukkonen, 2017)

### 5.2.3 Referenssikappaleen kokoonpano

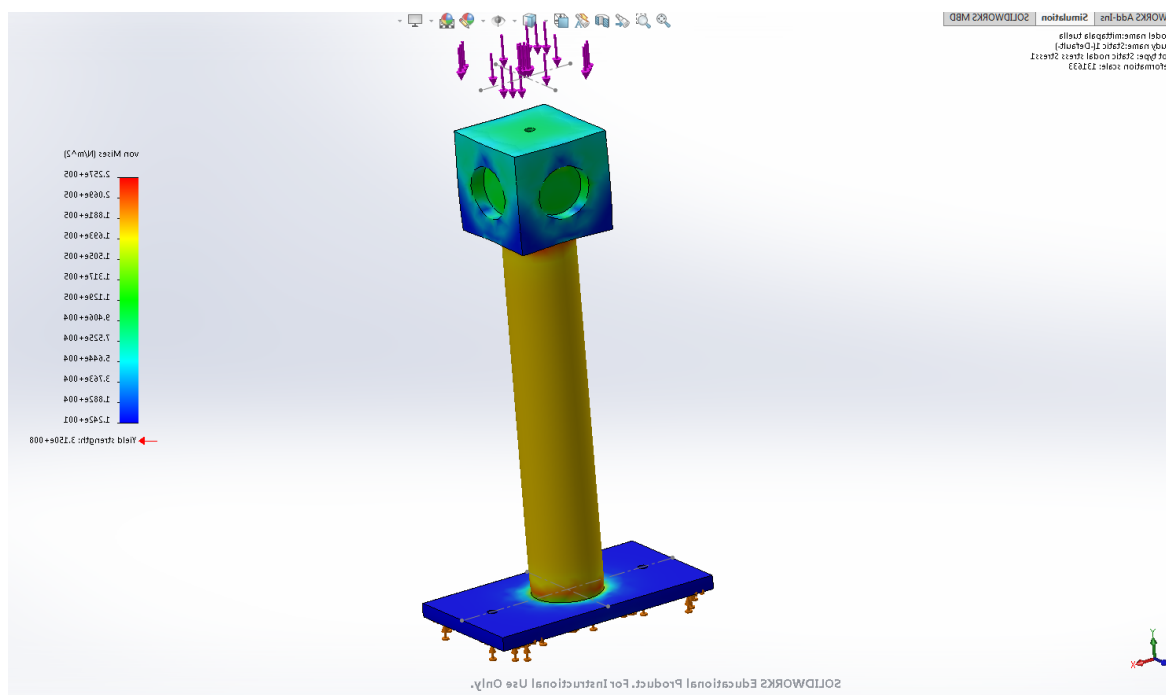
Referenssikappaleen viimeistelyn toleranssiksi suunniteltiin SFS-ISO 22768-1:1993 F. Tässä kappaleessa käytettiin pöytää hienompaa pinnantarkkuutta, jotta pinnan huokoisuus ei lisäisi mittauksen epävarmuutta. Referenssikappaleen lujuudeksi riitti, että se kesti oman painonsa, sillä tämän ei ollut tarkoitus kestää ylimääräistä kuormaa. Kappaleen painoksi tuli Solidworks-ohjelmiston arvoilla n. 71 kg. Tarvittava lujuus kokoonpanolle saatiin tarkistettua Solidworksin FEM-laskennalla, jolla saatiin todettua, ettei kappaleeseen tullut ylimääräisiä jännityksiä. Kappaleelle tehdyn lujuustestin voimaksi laitettiin tässä kuvassa 1400 N. Lujuustesti tehtiin aluksi kahden varmuuskertoimella, jotta nähtiin olisiko kappaleessa optimointivaraa rakenteelle tarvittaessa. Rakennetta ei ollut kuitenkaan tarvetta keventää, joten lujuustestejä pienemmillä jännityksillä ei ollut tarvetta tehdä.



KUVA 12. Hitsauskoonta referenssikappaleelle. (Kukkonen, 2017)



KUVA 13. Vaihtoehtoinen hitsauskoonta referenssikappaleelle. (Kukkonen, 2017)



KUVA 14. Lujuuslaskelma Solidworksilla referenssikappaleelle. (Kukkonen, 2017)

### 5.3 Mittauspöytä

Mittauspöytä haluttiin pienien kappaleiden mittauksen apuvälineeksi. Alun perin pöydän kantavuudeksi haluttiin 1000 kg, mutta työturvallisuuden ja käytännöllisyyden vuoksi päädyttiin siihen, että pöydälle riittää 200 kg kantavuus. Pöydästä toivottiin helposti ja nopeasti siirrettävää, jottei se olisi suurempien mitattavien kappaleiden tiellä.

Aloituspalaverissa tilaajalla oli toive, että pöydän pintaan tulisi myös mitta-asteikko.

Suunnitteluprosessin edetessä tilaaja kuitenkin totesi mitta-asteikon olevan tarpeeton, sillä se ei olisi tuonut mittausprosessiin tarpeeksi lisää nopeutta ja tehokkuutta.

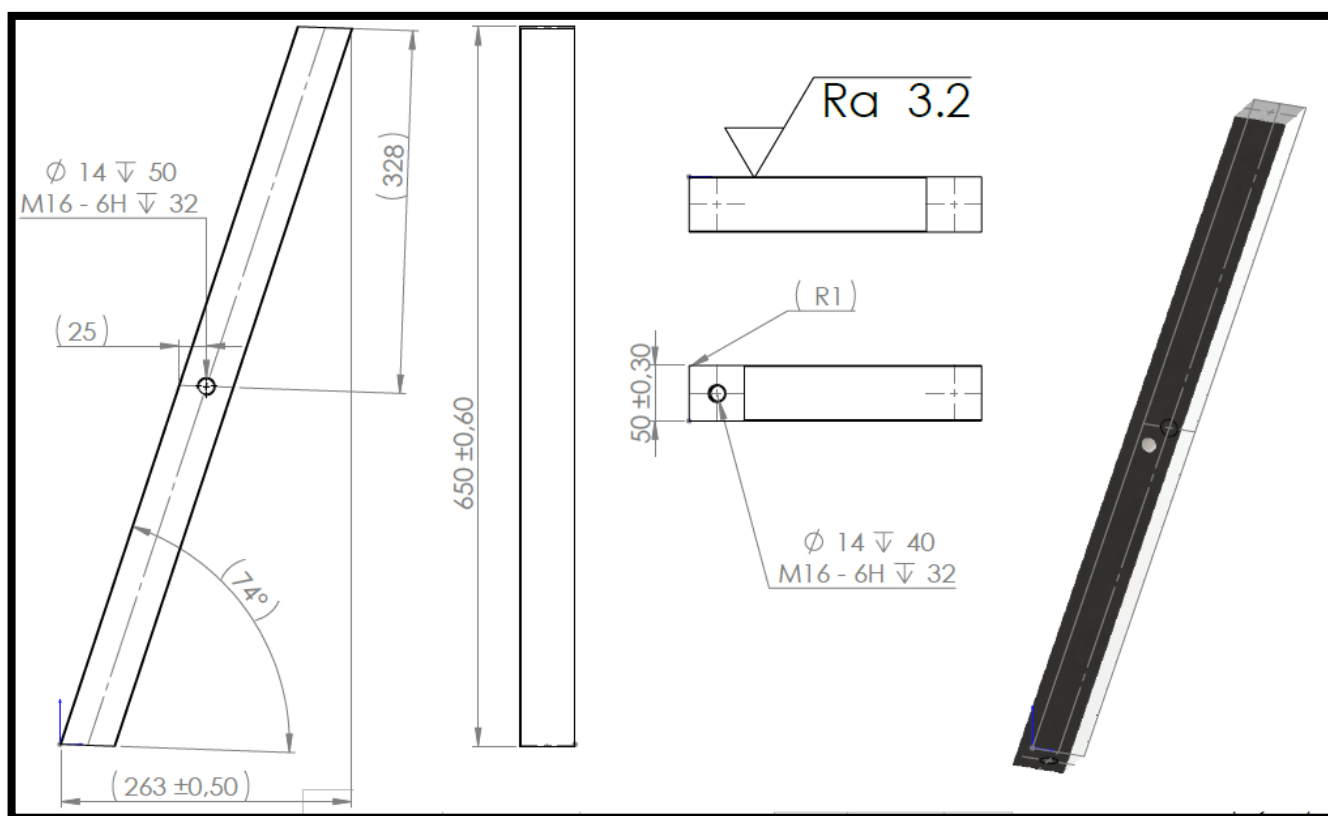
Mittapöydän tuli olla kulumisenkestävää ja lujaa materiaalia, jotta se kestäisi mitattavien kappaleiden painon ilman muodonmuutoksia. Tilaajan toiveesta ei pöytään suunniteltu erillistä pinnoitusta. Eri materiaalivalintoja ei myöskään lähdetty suunnittelussa etsimään pöydän suhteen, sillä tilaajan toiveesta käytettävissä ollut s355 teräs oli ominaisuuksiltaan riittävä pöytään.

#### 5.3.1 Mittauspöydän jalat

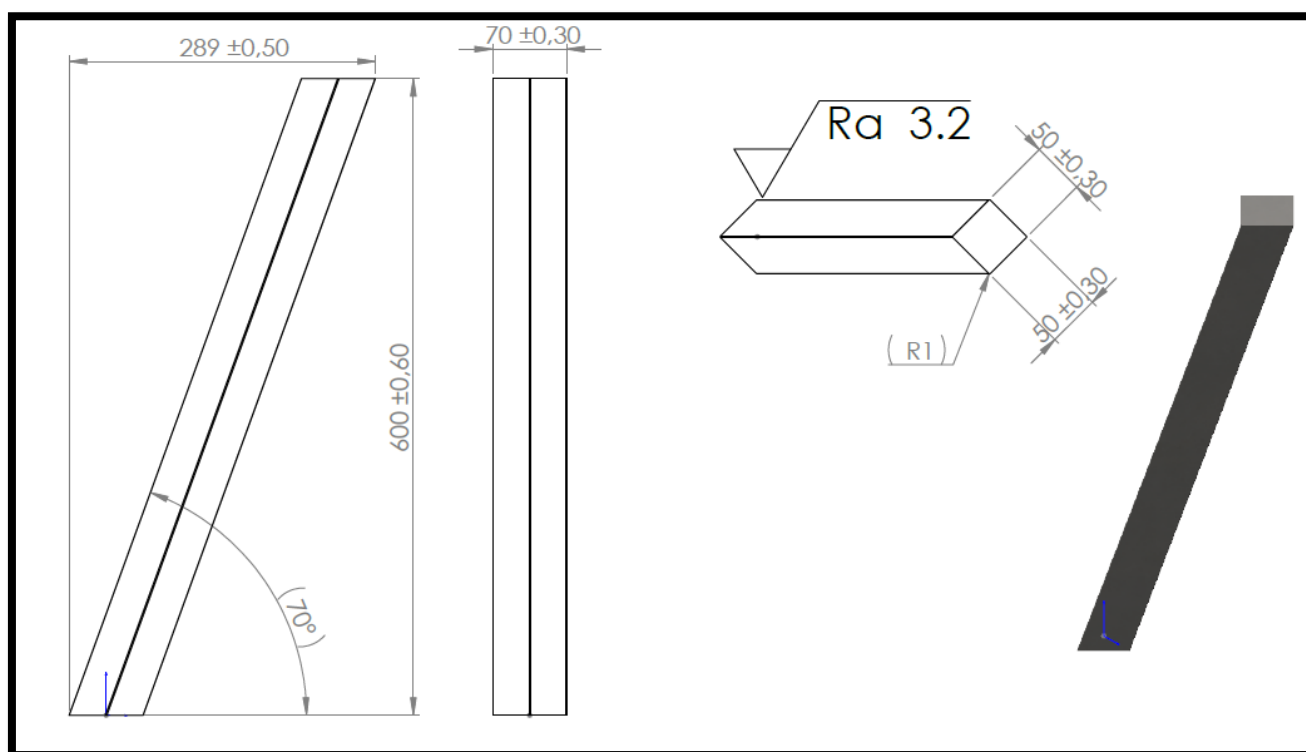
Tilaajan toiveesta pöydästä suunniteltiin kolmijalkainen. Ensimmäinen versio pöydästä suunniteltiin suoriin jalkoihin, mutta suunnittelussa päädyttiin vinoihin jalkoihin lisäämään tukevuutta pöytään. Jalat suunniteltiin noin 70 asteen kulmaan lattiaan nähden ja jalkojen erilaisesta geometriasta johtuen keskimmaiseen jalkaan tuli hieman suurempi kulma kuin vierekkäisiin jalkoihin. Jalkojen koon



suunnittelussa tuli ottaa huomioon se, että ruuvien paikan pystyi tekemään suoraan pohjasta jalan vinosta geometriasta huolimatta. Yhden jalan pohjaan suunniteltiin M16 kokoinen reikä ruuvia varten ja kahteen jalkaan reiät tuli tukikappaleeseen, jotta tarvittaessa pöydän saisi mittaushuoneen lattialle kiinnitettyä ruuveilla. Jalat suunnattiin hieman vinosti toisiinsa nähden lisäämään pöydän tukevuutta, ettei tulisi vaaraa pöydän kaatumisessa mittaustilanteessa. Kahteen jalkaan suunniteltiin tukikappaleet, joihin oli tarkoitus tulla muovista suunnitellut pyörät liikkuvuutta helpottamaan. Pyörien kiinnitys suunniteltiin niin, että paikalla ollessaan pyörät sai asennoitua ylös, ettei pöytä lähtisi vahingossa liikkeelle. Yhteen pyörättömään jalkaan suunniteltiin kahva pöydän liikuttamista varten ja kahvaa varten tuli M16 reikä kiinnitysruuville puoliväliin korkeussuunnassa. Kokoonpanokuvuihin laskettiin hitsit jalkojen kiinnityksille pöytään sekä kahden jalan pyörien tukikappaleiden hitsit jalkoihin.



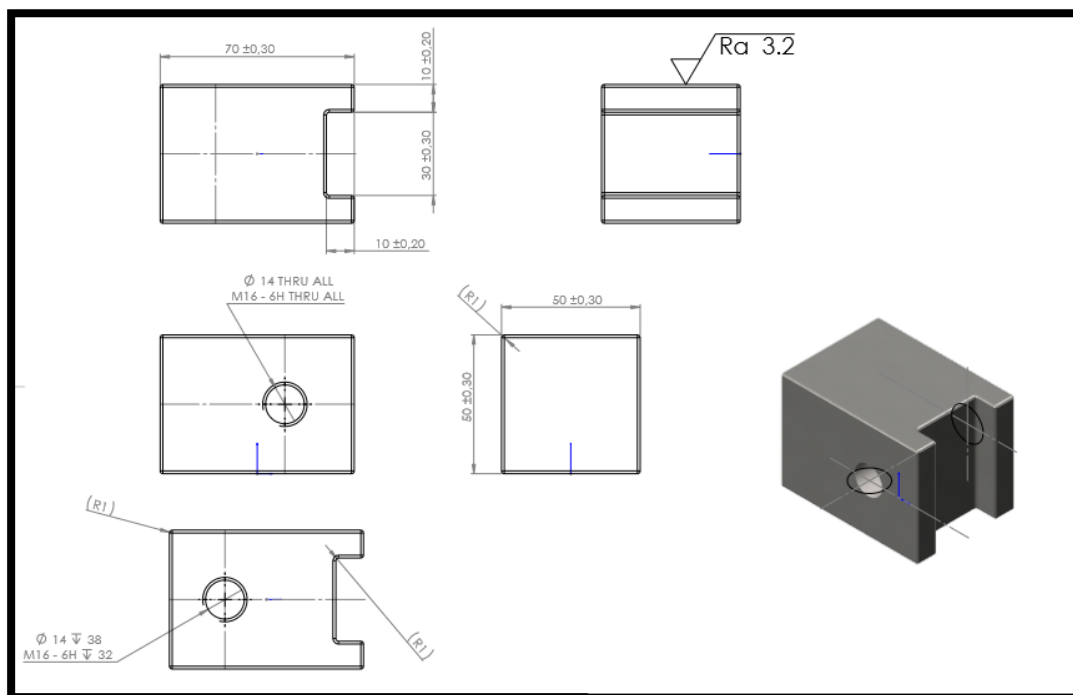
KUVA 15. Keskimäinen pöydänjalka. (Kukkonen, 2017)



KUVA 16. Työkuva vierekkäisistä jaloista. (Kukkonen, 2017)

### 5.3.2 Mittauspöydän jalkojen tukikappaleet

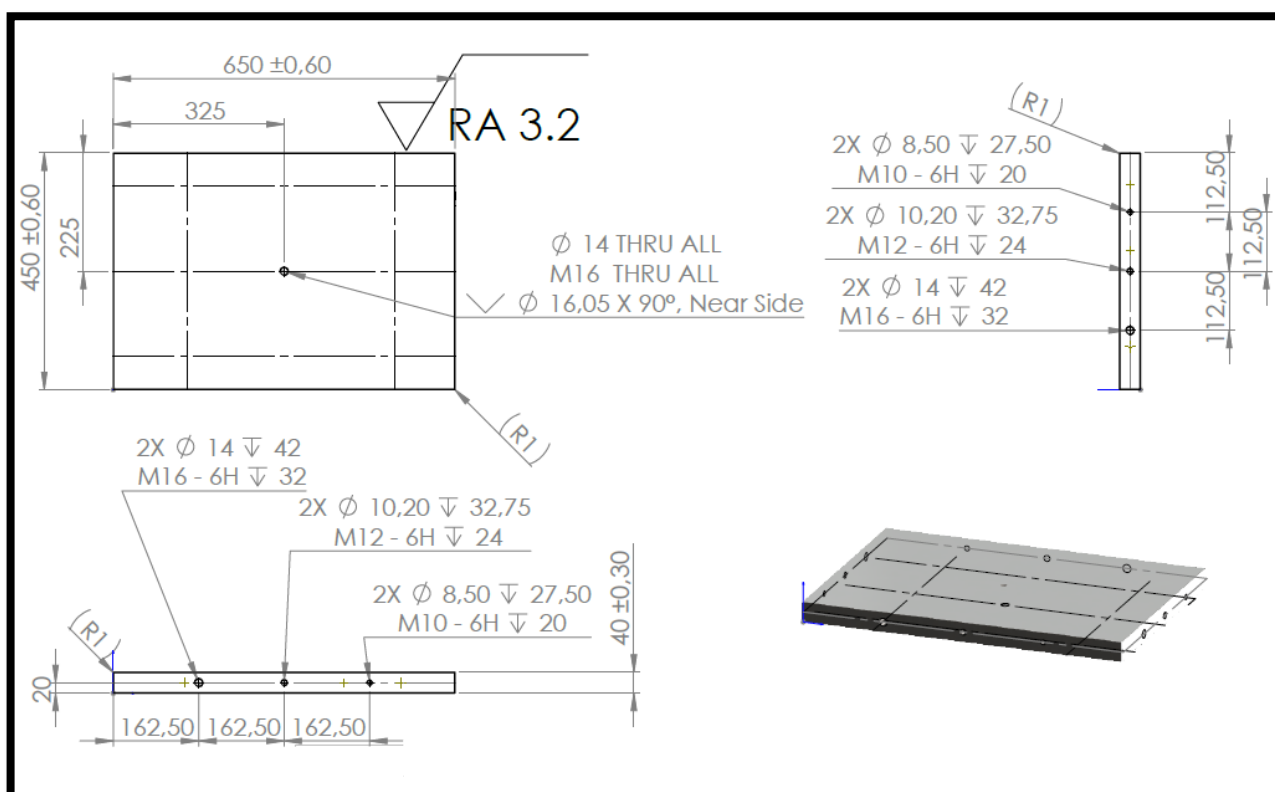
Pöydän kokoonpanon suunnitteluvaiheessa tuli ilmi, että pyörien kiinnitys jalkoihin olisi vaikeaa vinoille jaloille, joten kahdelle jalalle suunniteltiin pyörien kiinnitystä varten alas tukikappale. Suorien tukikappaleiden avulla saatiin pyörien pyörimissuunta suoraksi lattiaa kohden. Yhdelle kapealle sivulle mitoitettiin 28 mm korkea ja 8 mm levä rako pyörien liikkuvuutta varten. Pohjiin suunniteltiin M16 reiät mahdollista lattiaan kiinnitystä varten.



KUVA 17. Jalkojen tukikappale. (Kukkonen, 2017)

### 5.3.3 Mittauspöydän pöytälevy

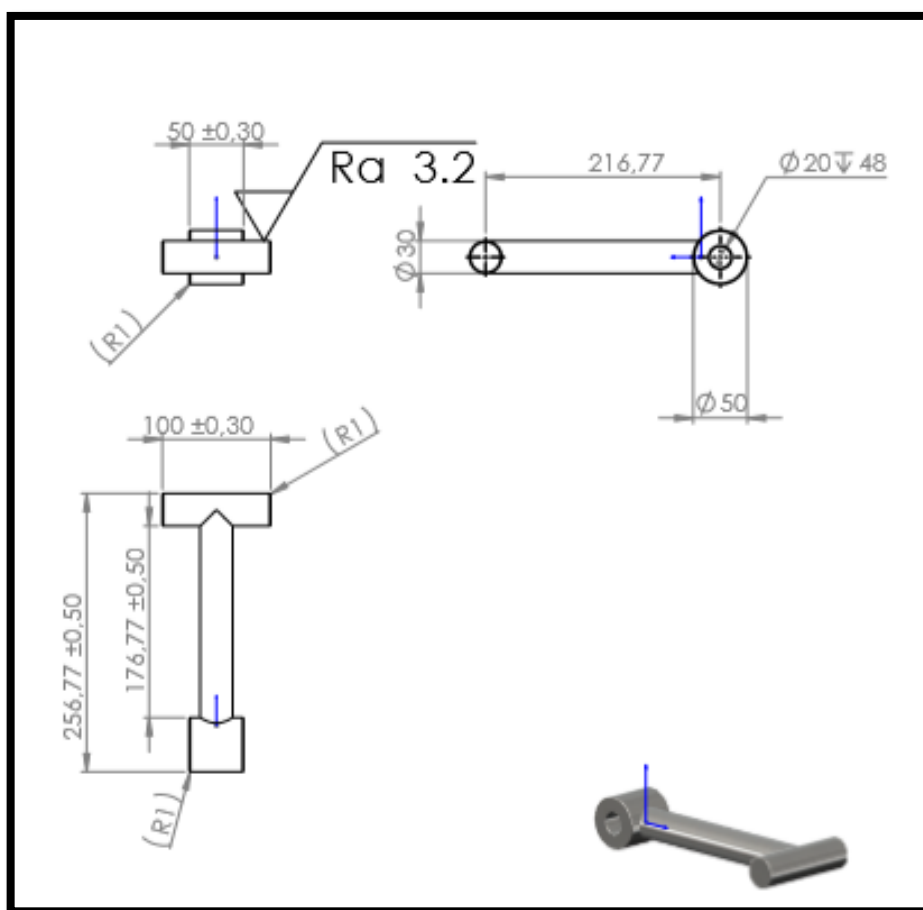
Pöytälevyyn haluttiin ruuveille paikkoja, yksi M 16 kokoinen reikä pöytälevyn keskelle sekä muutamia eri kokoisia reikiä reunoille. Keskellä oleva reikä haluttiin pöytään nostokonetta varten, jos pöytää olisi tarvetta siirrellä nostokoneella. Sivulla olevat reiät haluttiin, jotta mitattavat kappaleet saataisiin tarvittaessa kiinnitettyä pöytään. Mitattavat kappaleet saattoivat olla tilaajalla hyvinkin monimuotoisia ja niille oli laitettava tuet, jotta ne pysyisivät paikoillaan tasaisellakin alustalla. Jokaiselle sivulle tuli ruuveille kolme reikää M10, M12 ja M16 kokoisina. Reikien etäisyydelle toisistaan ei asiakkaalla ollut toiveita, joten nämä laitettiin ilman erillisiä laskelmia tasaiselle etäisyydelle toisistaan. Pöytälevyn pinta-ala toteutettiin tilaajan toiveen mukaisesti. Pöydän paksuus suunniteltiin niin, että siinä oli riittävästi tilaa rei'ille sekä riittävä lujuus suunnitellulle kuormalle reikien kanssa. Pöytälevylle kokeiltiin suunnitteluvaiheessa eri paksuuksia, joista kestävyys ja mitoituksen kannalta päädyttiin 40mm paksuiseen pöytälevyyn. Pöytälevylle tehtiin vielä erillisiä lujuustestejä suunnitteluprosessin aikana Solidworks-ohjelmistolla, jotta sille saatiin todettua riittävä kantavuus halutulle kuormalle.



KUVA 18. Mittauspöydän pöytälevy. (Kukkonen, 2017)

### 5.3.3 Mittauspöydän kahva

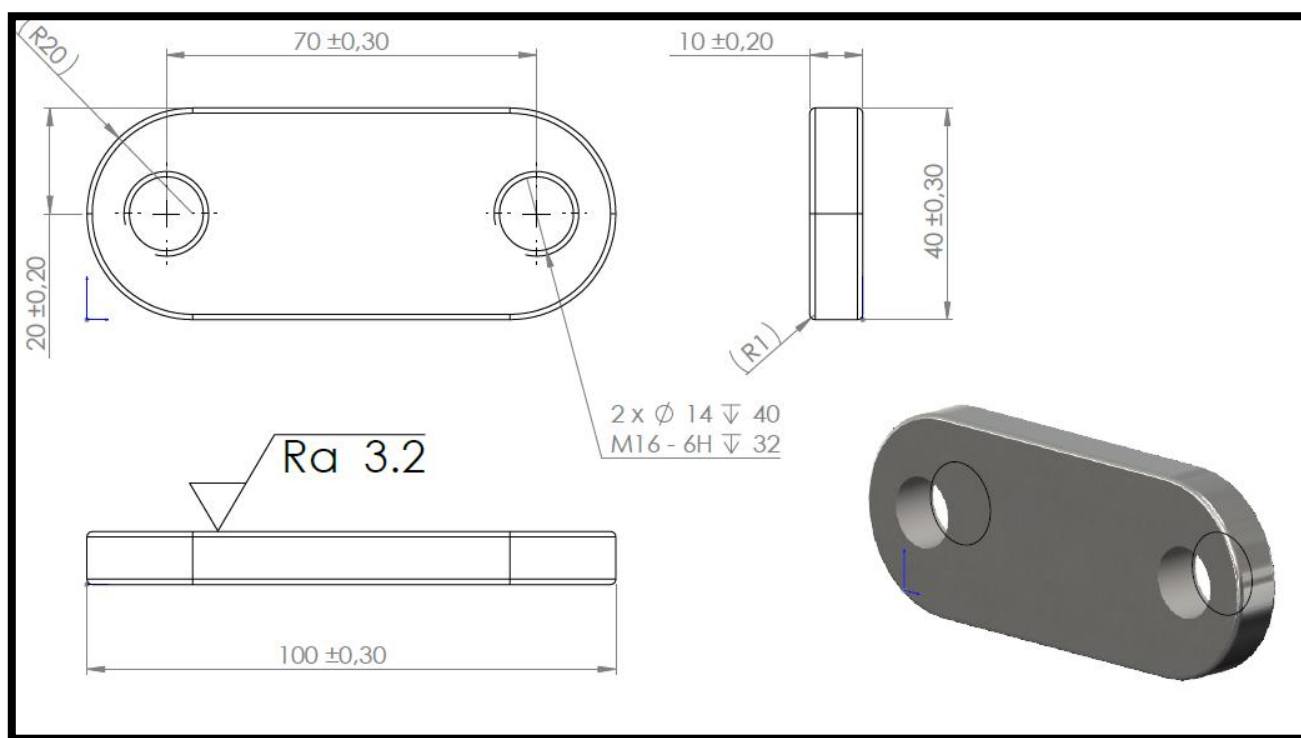
Mittapöydän kahvan muodolle oli suunnitteluvaiheessa muutamia eri vaihtoehtoja. Kahvan suunnittelussa otettiin huomioon tarvittava lujuus, yksinkertainen koneistus ja vähäinen hitsaus, materiaalihukan minimointi koneistuksessa, kahvan liikkuvuus ja liitettävyys pöytään sekä sopiminen käyttötarkoitukseensa. Tähän pöytään kahvalle tarkoituksenmukaisin kiinnitystapa oli ruuvi, sillä se mahdollisti kahvan liikkuvuuden. Reiästä mitoitettiin ruuveja suurempi, jotta kahvalle jäi liikkumavaraa ylä- ja alasuuntaan. Kahvan kiinnitys suunniteltiin niin, että sitä sai tarpeen mukaan liikutettua tai lukittua paikoilleen ruuvia kiristämällä tai löystyttämällä.



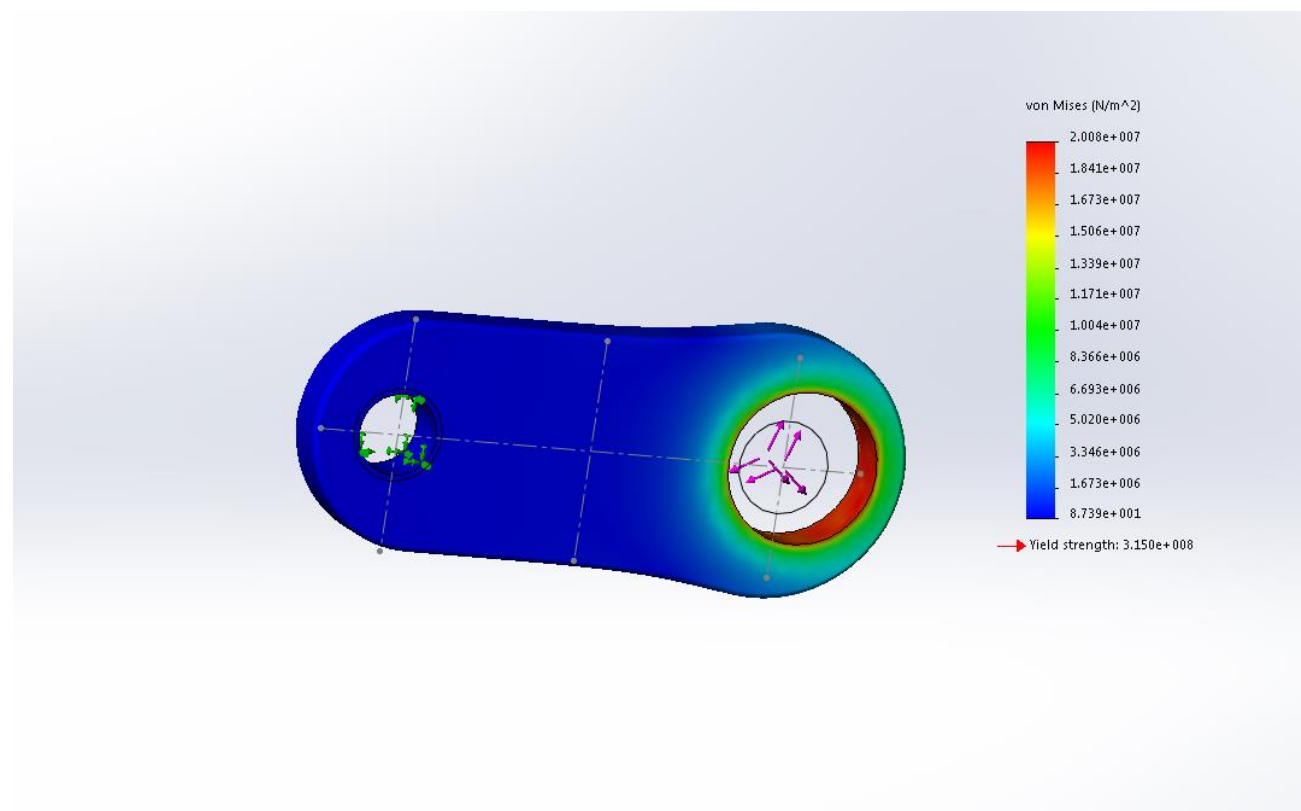
KUVA 19. Mittauspöydän kahva. (Kukkonen, 2017)

#### 5.3.4 Mittauspöydän kiinnityskappaleet

Kahvan ja pyörien kiinnityskappaleista suunniteltiin soikean muotoinen kappale, johon molempiinreunoihin tuli M16 reiät kahvan ja pyörien kiinnitysruuveille. Kappaleesta saatiin mitoitettua sopivan kokoinen, jotta valmistettavuutta helpottamaan sen sai sopimaan pyörien ja kahvan kiinnitykseen. Kappaleen mitoituksessa tuli ottaa huomioon tarvittava lujuus, sillä pöytää liikuttaessa näihin kappaleisiin tulisi jännityksiä kahteen suuntaan etenkin reikien kohdalla. Kappaleessa huomioitiin riittävä liikkumavara pyörille ja kahvalle.



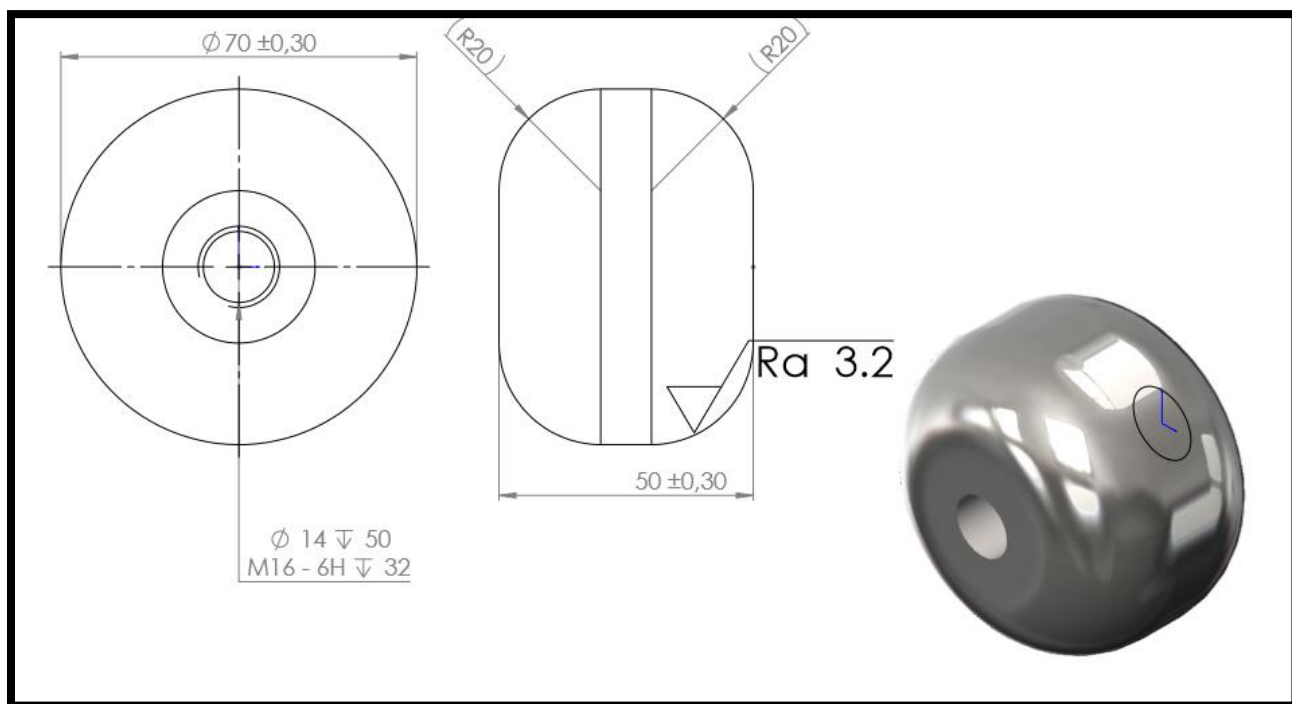
KUVA 20. Pyörien ja kahvan kiinnityskappale. (Kukkonen, 2017)



KUVA 21. Kahvalle tehty lujuustesti Solidworks ohjelmistolla. (Kukkonen, 2017)

### 5.3.5 Mittauspöydän pyörät

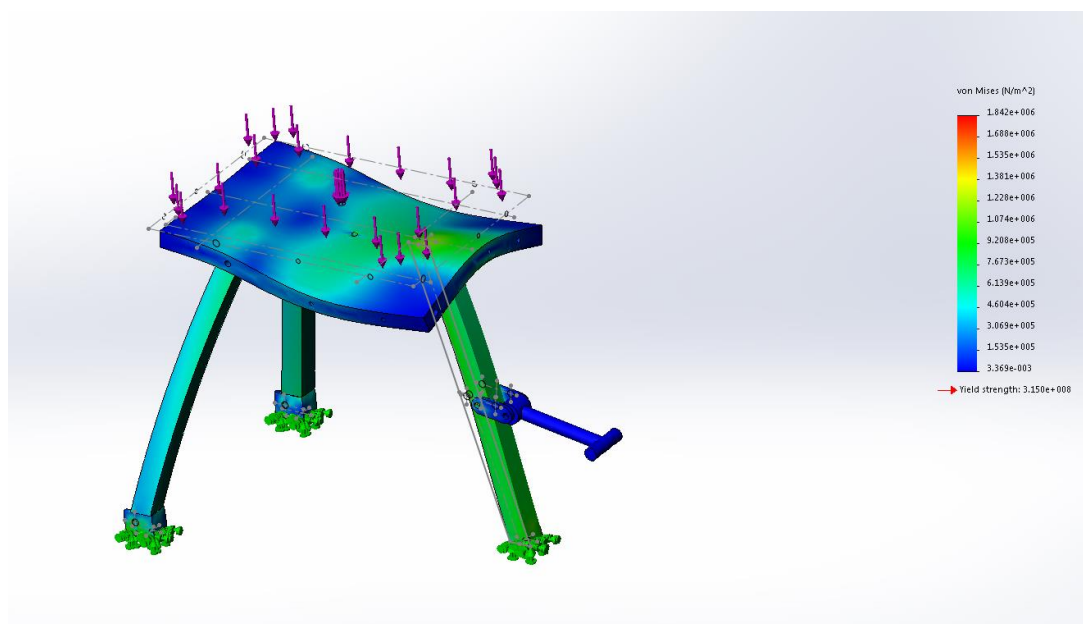
Kokoonpanoon pyörät suunniteltiin 70 mm halkaisijalla ja 50 mm paksuudella. Keskelle kiinnitystä varten tuli M16 kokoinen reikä ruuville. Pyörät tilaaja sai valmistettua varastostaan löytyvällä riittävän lujalla muovilla, sillä päädyttiin suunnitteluvaiheessa sen olevan terästä parempi materiaali pyöriin.



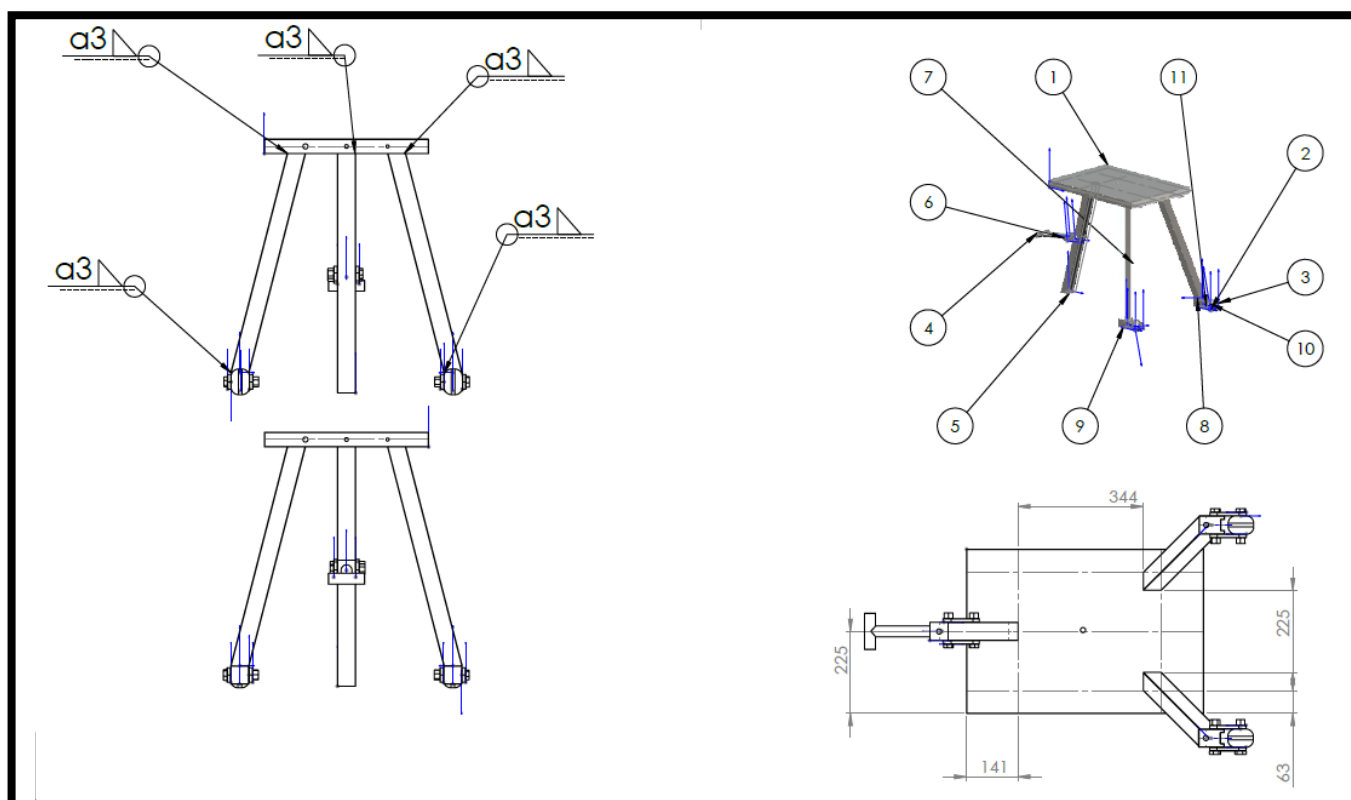
KUVA 22. Mittauspöydän pyörät. (Kukkonen, 2017)

### 5.3.6 Mittauspöydän kokoonpano.

Pöydän osien viimeistely suunniteltiin toleranssilla SFS-ISO 22768-1:1993 M. Mittauspöydän painoksi tuli Solidworks-ohjelmiston antamilla arvoilla n. 132 kg ilman pyöriä, sillä ne tulisi kokoonpanoon muoviosina. Mittapöydän suunnittelun jälkeen kokoonpanolle tehtiin lujuuslaskelmat Solidworks-ohjelmiston FEM-toiminnolla. Lujuuslaskelmat tehtiin myös kahvalle sekä kiinnikeosille, jotta voitiin näillekin todeta riittävä lujuus pöydän liikuttelua varten. Lujuuslaskelmia tehtiin suunnitteluprosessin aikana eri arvoilla halutun kuorman arvon muuttuessa. Alkuvaiheessa toivotun 1000 kg:n kuormalla olisi pöytään jäänyt lujuudeltaan kriittisin kohta keskimmaiselle jalalle ja tässä vaiheessa pohdittiin nelijalkaisen pöydän vaihtoehtoa. Lujuustestejä tehtiin suunnitteluprosessin aikana eri arvoilla kokoonpanon muuttuessa suunnittelun aikana. Ensimmäisiä lujuustestejä tehtiin noin kaksinkertaisina halutulle kuormalle, jotta voitiin todeta, onko rakenteessa tarvittaessa optimointivaraa ja kestäkö rakenne, jos käytössä oli varmuuskerroin. Viimeisillä lujuustesteillä voitiin todeta, että rakenne kesti ainakin kaksi kertaa halutun kuorman ja pöydän pystyi turvallisesti valmistamaan ja ottamaan käyttöön annetuilla mitoilla.



KUVA 23. Lujuustesti Solidworks-ohjelmistolla mittapöydälle 4000N voimalla. (Kukkonen, 2017)



KUVA 24. Mittauspöydän hitsauskoonta. (Kukkonen, 2017)



## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella työpiirustukset mittauspöydästä ja mittakärkien tarkistamiseen tarkoitetusta apuvälineestä. Suunniteltujen kappaleiden tuli olla tilaajalle mittaus- ja kalibrintiprosessia tukevia ja helpottavia apuvälineitä. Kappaleiden tuli olla valmistettavissa tilaajan omissa tuotantotiloissa.

Työn tilaaja oli investoinut mittalaitteeseen, jonka kalibrintiprosessi oli paljon aikaa vievä ja tähän haluttiin apuväline. Mittauspöytä haluttiin helpottamaan pienten kappaleiden mittausta mittalakoneella.

Yhtenä vaihtoehtona kalibroinnin nopeuttamiseen oli mietitty kahden kalibrintikuulan hankintaa, jolloin kalibrintikuulan asentoa ei olisi kesken kalibrintia tarvinnut vaihtaa ja tästä olisi tullut ajansäästöä. Tämä vaihtoehto jäi kuitenkin pois, jolloin jatkettiin kalibroinnin apukappaleen suunnittelua.

Työssä mietittiin suunniteltaville kappaleille sopivinta muotoa yhdessä tilaajan kanssa ja näiden pohjalta toteutettiin valmiit työnkuvat, joista sai valmistettua kappaleet alusta loppuun.

Mittapöydän ja referenssikappaleen osapiirustuksista ja kokoonpanoista tuli tilaajan toivomusten mukaiset. Mittalaitteen kärkien tarkistuksen referenssikappaleesta tuli alkuperäisten toivomusten mukainen. Mittauspöydän työpiirustukset eivät kaikilta osin olleet alkuperäisten toivomusten mukaisia, mutta suunnitteluvaiheessa saatiin tilaajan kanssa toteutettua toimivat piirustukset. Pöydän rakenteesta ei saatu niin kevyttä, että sitä pystyisi ilman nostokonetta nostamaan, sillä asiakkaan käyttämä materiaali ja ruuvien reikien tarvitsema tila ei mahdollistanut kevyempää rakennetta pöydälle.

Mittapöydän kantavuus pienentyi alun perin toivotusta 1000 kilogrammasta 200 kilogrammaan, sillä päädyttiin työturvallisuuden kannalta siihen, ettei 1000 kg kappaletta ole turvallista tai edes mittauksen kannalta tarpeellista nostaa pöydälle.

Työnkuvien perusteella ei vielä raportin kirjoittamisen aikaan ollut tilaaja saanut valmiita kappaleita toteutettua.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- Andersson, Paul H. ja Tikka, Heikki. 1997.** *Mittaus- ja laatutekniikat*. Helsinki : Werner Söderström Osakeyhtiö, 1997. ISBN 951-0-21440-x.
- Aumala, Olli. 1989.** *Mittaustekniikan perusteet*. Helsinki : Oy Yliopistokustannus/Otatieto, 1989. ISBN 951-672-321-7.
- Autio, Arvo ja Räsänen, Olavi. 1979.** *Kone- ja metallitekniikka, Mittaustekniikka 1*. Porvoo : Werner Söderström Osakeyhtiö, 1979. ISBN 951-0-09084-0.
- Carl Zeiss 3D Metrology Services Gmb. 2006.** Calypso 4.4. *Calypso Peruskoulutus*. Aalen, Saksa : Carl Zeiss 3D Metrology Services Gmb, 2006.
- Esala, Veli-Pekka;Lehto, Heikki ja Tikka, Heikki. 2003.** *Konepajatekniset mittaukset ja kalibroinnit*. Helsinki : Teknologiatollisuus ry, 2003. ISBN 951-817-816-X.
- Hiltunen, Erkki;ym. 2011.** *Laadukkaan mittaamisen perusteet*. Espoo : Mittaketkiikan keskus MIKES, Työ- ja elinkeinoministeriö TEM, 2011.
- Kukkonen, Maria. 2017.** Työkuvat. Kuopio, 2017.
- Oulun yliopisto. 2013.** [www.oulu.fi](http://www.oulu.fi). *Oulun yliopisto*. [Online] Oulun kaupunki, 9. 4 2013. [Viitattu: 7. 12 2017.]
- Paakkilan Konepaja Oy: Hurvi Teuvo. 2017.** *Sähköpostiviesti*. 2017.
- Teräsrakenneyhdistys Ry. 2010.** *Teräsrakenteiden sunnnittelu ja mitoitus*. Helsinki : Teräsrakenneyhdistys Ry, 2010. ISBN 978-952-9683-50-5.
- Vitikainen, Esa. 1993.** *Mittauslaitteiden kalibrointi - Ohjeita järjestelmän rakentamiseen*. Helsinki : Metalliteollisuuden Keskusliitto, 1993. ISBN 951-817-577-2.